



***DISEÑO DEL ALCANTARILLADO DEL BARRIO SAN MARTÍN, MUNICIPIO DE
SOACHA.***

WILSON ANTONIO FLOREZ DIAZ

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HIDRICOS

BOGOTÁ D.C – 2019



DISEÑO DEL ALCANTARILLADO DEL BARRIO SAN MARTIN

MUNICIPIO DE SOACHA.

WILSON ANTONIO FLOREZ DIAZ

Trabajo de grado para obtener el título de especialista en Recursos Hídricos.

ASESOR: JESUS ERNESTO TORRES

INGENIERO CIVIL, MSC.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C.

2019



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra)



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Dedicatoria

A la comunidad del barrio San Martín, Municipio de Soacha

Agradecimientos

A las siguientes personas:

- Ingeniero Msc. Jesus Ernesto Torres, asesor del proyecto
- Señor Rigoberto Prieto, Presidente del barrio San Martin, Municipio de Soacha.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	11
ANECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	12
PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
OBJETIVOS	17
OBJETIVO GENERAL.....	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
JUSTIFICACIÓN.....	18
DELIMITACIÓN.....	19
ESPACIO	19
TIEMPO.....	19
CONTENIDO	19
ALCANCE.....	19
MARCO DE REFERENCIA.....	20
MARCO TEÓRICO	20
MARCO CONCEPTUAL.....	23
<i>Alcantarillado.....</i>	<i>23</i>
<i>Intensidad de precipitación.....</i>	<i>26</i>
<i>Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).....</i>	<i>27</i>
<i>Modelación Hidráulica de Redes de Alcantarillado</i>	<i>28</i>
METODOLOGÍA	29
RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN	29
ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	29
PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	29
<i>Intensidad de la lluvia.....</i>	<i>29</i>
<i>Proyección de la Población de Diseño.....</i>	<i>33</i>
<i>Diseño del Alcantarillado Pluvial y Sanitario</i>	<i>35</i>
RESULTADOS.....	46

PERFILES.....	46
<i>Alcantarillado Sanitario.....</i>	<i>46</i>
<i>Alcantarillado Pluvial.....</i>	<i>47</i>
MODELACIÓN EN SWMM.....	48
<i>Alcantarillado Sanitario.....</i>	<i>48</i>
SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE	51
<i>Alcance.....</i>	<i>52</i>
<i>Insumos.....</i>	<i>52</i>
<i>Plano de Legalización.....</i>	<i>52</i>
<i>Ubicación</i>	<i>53</i>
<i>Cunetas Verdes</i>	<i>53</i>
CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES.....	64
BIBLIOGRAFÍA.....	65
ANEXOS	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de Coeficiente de Rugosidad Manning para varios materiales. (RAS).....	21
Tabla 2. Información Estaciones de Influencia en el Barrio San Martin Municipio de Soacha-Cundinamarca. Fuente IDEAM	29
Tabla 3. Periodo de retorno y características del área de drenaje. Fuente tabla 16 Resolución 330 de 2017	30
Tabla 4. Precipitación máxima en 24 horas. Fuente Convenio 1201- 2017 Universidad Nacional - Municipio de Soacha.....	31
Tabla 5. Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas de Intensidad - Duración y Frecuencia IDF para Colombia.....	31
Tabla 6.Valores de IDF Estación SIBATE APOSTOLICA.....	32
Tabla 7.Proyección de población 2017-2019	34
Tabla 8. Proyección población Año 2020-2044	34
Tabla 9.Dotación Neta Máxima. Fuente: Resolución 330 de 2017, Min de V-C y T.	36
Tabla 10.Valores coeficiente K. Perdida Unión Tuberías.....	41
Tabla 11. Valores coeficientes K.....	42
Tabla 12. Resultados modelo SWMM Sanitario	49
Tabla 13. Resultados modelación SWMM pluvial	50
Tabla 14. Coeficiente α de acuerdo con el tiempo de drenaje. Fuente: Norma NS-166 EAAB-ES	58

Tabla 15. Resultados Q para SUDS. Fuente: Hojas Excel UNIANDES	58
Tabla 16. Predimensionamiento Cunetas Verdes	59
Tabla 17. Dimensionamiento Cunetas Verdes.....	60

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Área de Amenaza por Avenidas Torrenciales. Fuente: (Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá Carlos Gonzalez et al., 2017	15
Figura 2 Características Geométricas de la sección circular (RAS, Título D, p.120).....	23
Figura 3. Curvas IDF Estación Sibate Apostólica.....	32
Figura 4. PZ 1 hasta el pozo 10.	46
Figura 5. PZ 1 A POZO 9;Error! Marcador no definido.	
Figura 6. Margen de error en la modelación del alcantarillado sanitario en SWMM.....	48
Figura 7 Margen de error en la modelación del alcantarillado pluvial en SWMM.....	50
Figura 8. Ubicación SUDS y plano de riesgo	53
Figura 9. Cunetas verdes. Fuente: NS-166 de la EAAB-ESP.	54
Figura 10. Cámara de caída tipo bajante.....	64

INTRODUCCIÓN

Con la resolución de legalización N° 1209 del 24 de octubre de 2014 en la que se consagra lo siguiente: “Por medio del cual se legaliza el asentamiento humano denominado San Martin localizado en la comuna seis (6) del Municipio de Soacha”, se legalizó el barrio San Martín, el cual se encuentra ubicado en una zona de ladera y sobre rocas blandas. Esto implica que cuando se presentan lluvias intensas se producen procesos erosivos importantes e inundaciones, adicionalmente no presenta un manejo adecuado de las aguas de escorrentía lo que magnifica este problema.

Por otro lado, según información del Servicio Geológico Colombiano en el municipio de Soacha, en el periodo 1987-2008 se han presentado valores de precipitación diaria que oscilan entre “50 y 100 milímetros”. Adicionalmente estudios sobre Cambio Climático realizados por la Universidad Nacional, sede Bogotá, afirman que el barrio San Martin se encuentra en zona de amenaza por lluvias torrenciales, problema que será magnificado por los efectos del Cambio Climático (2017) (Marta Calvache et al., 2013).

A las dificultades mencionadas anteriormente hay que sumarle el hecho que el Barrio San Martin del Municipio de Soacha está sin pavimentar, no hay un manejo adecuado de las aguas lluvias por no tener un alcantarillado pluvial o Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDs). Además, el alcantarillado sanitario es artesanal porque fue construido por la comunidad. Esto implica que no se cuenta con especificaciones técnicas y es muy probable que se presenten fugas, más si se tienen en cuenta que: “las fugas o perdidas de un alcantarillado en general están asociadas al tipo de material utilizado en las juntas y a la calidad de la mano de obra” (Metcalf-Eddy, 1977, p. 45).

ANECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

El Servicio Geológico Colombiano realizó en el año 2012 la zonificación geomecánica y de amenaza por movimientos en masas en el Municipio de Soacha –Cundinamarca. La escala utilizada fue 1:5000 y se llegó a las siguientes conclusiones desde punto de vista hidrológico:

Una vez realizada la evaluación de las áreas de drenaje sobre la zona de estudio se detectaron un sin número de redes de acueducto y alcantarillado en inadecuadas condiciones de funcionamiento. Estas redes, aportan un caudal constante sobre los taludes y laderas llevando a la saturación de los materiales y a su vez acelerando los procesos de inestabilidad del terreno (Marta Lucia Calvache y otros, 2012, p. 373).

De igual manera la ausencia de redes de distribución de agua potable y de drenaje urbano en un gran porcentaje del área de estudio genera problemas de salud pública a la comunidad. Además, es necesario recalcar que los sistemas de drenaje existente no cumplen con las especificaciones mínimas requeridas para su adecuado funcionamiento (Marta Lucia Calvache et al., 2012, p. 374).

En febrero del año 2013 el Servicio Geológico Colombiano realizó una segunda zonificación geomecánica y de amenaza por movimientos en masas en el municipio de Soacha –Cundinamarca utilizando una escala 1:25.000. En este estudio, se evidencian los principales factores que han contribuido a los procesos de inestabilidad del municipio desde 1994, los cuales se agruparon de la siguiente manera:

- Actividad Minera: deficiencias en la explotación minera o zonas antiguas de explotación minera sin recuperación ambiental.
- Procesos de infiltración: infiltración de aguas servidas, lluvias y esorrentía debido al deficiente manejo de las aguas.
- Intervención antrópica: deficiente construcción de viviendas, vías y obras en general.
- Erosión: procesos erosivos superficiales.
- Lluvias: precipitaciones de alta intensidad aguaceros. (Marta Calvache y otros, 2013, p. 196)

En este mismo documento se llega a la conclusión que: “el Municipio de Soacha se ha visto afectado drásticamente por fenómenos de remoción en masa, que se han venido produciendo por la ola invernal y cambios climáticos que producen los agentes detonantes que activan estos fenómenos que desestabilizando los taludes y laderas, fenómenos que ocurren sin previo aviso causando desastres y arrastrando todo lo que encuentran a su paso disminuyendo la calidad de vida y

colocando en riesgo la vida de los habitantes” ((Marta Calvache et al., 2013, p. 471).

Por otro lado, es indispensable presentar las siguientes consideraciones hidrológicas: el área de estudio se encuentra localizada bajo un régimen bimodal con precipitaciones medias mensuales altas en los meses de abril, mayo, octubre y noviembre y bajas en los meses de enero, febrero, julio y agosto, y de transición en marzo, junio, septiembre y diciembre. La época de lluvias más intensa se presenta en el segundo semestre del año (Marta Calvache et al., 2013, p. 478).

Además, el Servicio Geológico Colombiano indica que en la zona de estudio la precipitación varía entre 600 mm y 1200 mm, los cuales son valores bajos si se comparan con el resto del país. Sin embargo, las precipitaciones máximas diarias oscilan entre 50 mm y 100 mm las cuales pueden considerarse altas e influyen considerablemente sobre los movimientos en masa.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede afirmar que contar con un servicio de alcantarillado que cumpla con las normas técnicas, es indispensable para asegurar la igualdad, al tener condiciones ambientales de salubridad óptimas que repercutan en el bienestar de la comunidad. Además, es un parámetro de desarrollo socioeconómico porque valoriza las propiedades de los habitantes del barrio y les permite liberar tiempo que pueden utilizar en actividades productivas. De igual forma, es muy importante a la hora de disminuir el riesgo de procesos de remoción en masa, sobre todo para en las viviendas que se encuentran localizadas en zonas de pendiente alta.

Diseñar el sistema de alcantarillado para el barrio San Martín, de la comuna seis del Municipio de Soacha, es algo prioritario y es la base para el inicio de nuevas iniciativas de planes de desarrollo por parte de la comunidad o del Estado, ya que, al construir un sistema de alcantarillado pluvial y sanitario, se mejora de forma considerable la calidad de vida de los usuarios y se les permite liberar recursos para ser utilizados en otras áreas de bienestar comunitario.

PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo con la resolución de legalización N° 1209 del 24 de octubre de 2014 de la Alcaldía Municipal de Soacha, se afirma que las manzanas catastrales 1005, 1006, 1007, 1011 y 1012 del barrio San Martín se encuentran ubicadas en zonas de riesgo alto no mitigable. Hay otras manzanas que presentan una afectación por riesgo medio mitigable y manzanas catastrales sin afectación. También se registra que el acueducto y alcantarillado presentan redes artesanales construidas por la comunidad.

La alcaldía Municipal de Soacha, señala en el Documento Plan de Emergencia Municipio de Soacha, Zonas más Vulnerables a Deslizamientos e Inundaciones que entre los barrios que tienen mayor riesgo se encuentran: el Barrio La Isla, Loma Linda, Oasis, Robles, Florida I, Llano Grande, Cardal, Florida Alta, San Martín, entre otros.

Adicionalmente, la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá mediante contrato interadministrativo con la Alcaldía Municipal de Soacha N° 1201 de 2016 realizó la consultoría: “Estudio de Amenaza y Vulnerabilidad por Avenidas Torrenciales e Inundaciones en el Municipio de Soacha/ Medidas de Mitigación, Intervención y Plan Preliminar de Ejecución” en esta consultoría se fijan las necesidades principales, identificadas por componente, para la definición de medidas de intervención, restricciones o condicionamientos. Además, se afirma que la zona que colinda entre la comuna VI y la I tiene un alto riesgo y afecta los barrios de la zona industrial el Salitre, La Florida, El Divino Niño, La Cristalina, San Martín, Altos de la Florida, San Rafael, Las Margaritas y el Barreno (González et al., 2017, p. 23).

La figura 1 muestra el mapa de avenidas torrenciales, indicando la zonificación de áreas de amenaza por inundación en el escenario actual. Las zonas o áreas con una alta amenaza se representan con color rojo y se puede observar que en esta zona se encuentra la comuna seis, a la cual pertenece el barrio San Martín. Por otro lado, las zonas o áreas que tienen una amenaza media se muestran en color amarillo y zonas o áreas con una amenaza baja se muestran en color verde.

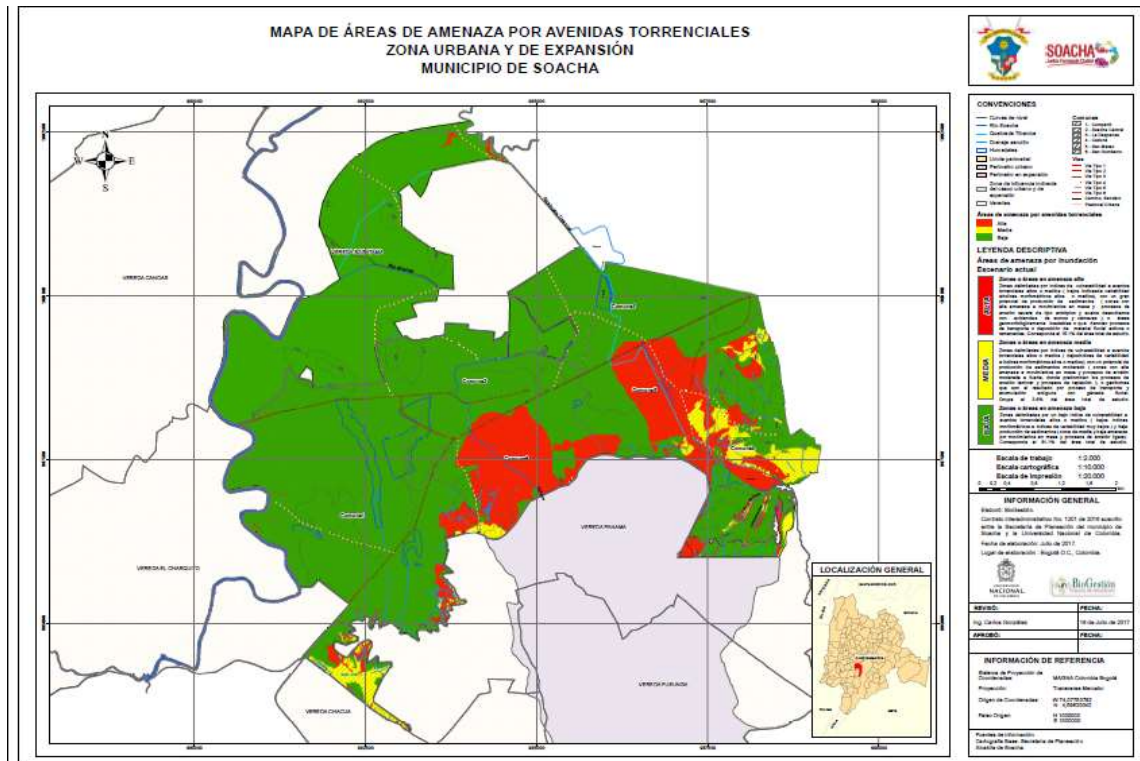


Figura 1. Mapa de Área de Amena por Avenidas Torrenciales. Fuente: (Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá Carlos Gonzalez et al., 2017)

En cuanto a la geología, la región que comprende el Municipio de Soacha puede asimilarse a una gran unidad geomorfológica del Altiplano Cundiboyacense, con características geológicas, topográficas, climáticas y de procesos naturales particulares. Las unidades geológicas que afloran en la jurisdicción se han diferenciado en Acosta y Ulloa, 1997, en Mapa Geológico del Departamento de Cundinamarca.

En el Municipio de Soacha afloran rocas sedimentarias de origen marino transicional y continental; los materiales que conforman la geología del municipio se ubican cronológicamente en una secuencia que se extiende desde el Cretáceo hasta el Cuaternario. Es así como en la montaña estructural dominan los materiales del cretáceo hasta el cuaternario, en el lomerío abundan los materiales terciarios (Formación Guaduas, en tanto en la planicie fluvio-lacustre y la planicie de Inundación del río Bogotá están constituidos por sedimentos cuaternarios).

En el caso del Barrio San Martín, se tiene rocas terciarias de la Formación Guaduas (ktg), conformada de arcillolitas laminadas, a no laminadas, grises claras y abigarradas, con intercalaciones de cuarzo, arenitas grises de grano medio a fino y algunas capas de carbón.

El servicio Geológico Colombiano reporta en el barrio San Martín un tipo de roca de calidad aceptable, la cual se caracteriza por estar medianamente fracturada con dos familias de discontinuidades, con bloques medianos de tipo tabular, con valor de

RQD entre 50-75% y moderadamente meteorizados con resistencia a la compresión simple entre 50 y 100 MPa.

En cuanto a la unidad geomecánica que predomina en el barrio San Martín está conformada por depósitos de grano fino, de colores marinos, verdosos, rojizos verdoso, constituidos, por intercalaciones delgadas de arcillas, limos y arenas, a menudo con fragmentos de roca subangulares. Estos depósitos varían de compactos a medianamente compactos y se encuentran distribuidos en laderas con pendiente suaves y crestas de cimas agudas. Estos depósitos, pueden verse afectados por procesos erosivos intensos que generan disecciones profundas. El espesor calculado para esta unidad, en las zonas planas fue de hasta 10 metros.

Adicionalmente, en el barrio San Martín se encuentran suelos residuales de la Formación Guaduas, que conforman morfología muy suave, con pendientes inclinadas, que se distribuye en áreas de poca extensión, con suelos arcillo limosos, de consistencia baja, de color café con espesor que puede alcanzar hasta los 3 metros.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño del alcantarillado pluvial y sanitario del barrio San Martín localizado en el Municipio de Soacha, además de aplicar herramientas computacionales para realizar la modelación del sistema.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar los cálculos hidráulicos necesarios para diseñar el alcantarillado pluvial y sanitario.
- Incorporar estructuras SUDS dentro del diseño.
- Modelar las redes proyectadas de los sistemas de alcantarillado pluvial y sanitario en SWMM.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente, el barrio San Martín no cuenta con alcantarillado pluvial, situación que acrecienta el riesgo por deslizamiento, esto considerando que las pendientes en la zona de estudio oscilan entre el 2% y 16%. Por lo tanto, el agua de escorrentía drena o corre paralela a las vías hacia puntos o áreas de menor cota, en dirección sur norte y oriente occidente, dependiendo como sea la distribución e intensidad de las lluvias.

Al realizar visitas técnicas de campo en el barrio San Martín, se encontró que ciertos sectores de la superficie del barrio están compactos con vías sin pavimentar y con la intensidad de lluvia, presenta mayor escorrentía, con relación a la infiltración, presencia de procesos erosivos producto de las lluvias y por consiguiente menor recarga de las aguas subterráneas; la falta de un drenaje pluvial seguro y eficiente es importante desde el punto de vista de salud pública para el evento de situaciones con presencia de inundaciones en la propiedad y bienes de los habitantes del barrio San Martín y el entorno en el cual se encuentran.

Al no existir un alcantarillado pluvial sus aguas de escorrentía, parte se infiltra en el perfil del suelo, formándose aguas subsuperficiales, que contribuyen a la pérdida de la capacidad de soporte del suelo y de continuar esta situación puede acontecer un cambio de riesgo medio mitigable a no mitigable, de acuerdo a la intensidad de lluvia y a los periodos continuos de la misma.

El Alcantarillado Artesanal Sanitario funciona provisionalmente, desconociéndose la capacidad Hidráulica construido sin normas técnicas y para su adecuado funcionamiento se requiere haber realizado un buen diseño con las normas técnicas, cumplimiento de las especificaciones de construcción y su correspondiente mantenimiento. Un buen Alcantarillado sanitario es sinónimo de evitar enfermedades, presencia de microorganismo que afecta la salud de los habitantes del barrio San Martín y para proteger las fuentes de aguas receptoras (Río Soacha).

DELIMITACIÓN

ESPACIO

El área geográfica donde se diseñará el alcantarillado pluvial y sanitario es el Departamento de Cundinamarca, en el Municipio de Soacha en la comuna seis en el barrio San Martín. Las coordenadas geográficas que delimitan la zona de estudio son: 4°34.125'N, 74°13.252'O; 4°34.105'N, 74°13.230'O; 4°33.89'N, 74°13.225'O. El barrio San Martín limita en el norte con el Barrio la Cristalina, por el sur con el Barrio Altos de la Florida, por el oriente con predios de Industria el Salitre y por el occidente con predios de la Ladrillera.

TIEMPO

El análisis se va a realizar para la ventana de tiempo 2019-2044 para un sistema separado de alcantarillado sanitario y pluvial; todo el estudio se realizó en el segundo semestre año 2019.

CONTENIDO

A partir del plano topográfico, el trazado de la tubería, la proyección de población, las condiciones hidrológicas se va a diseñar el alcantarillado del barrio San Martín.

ALCANCE

Realizar los diseños hidráulicos del alcantarillado sanitario y pluvial del barrio San Martín, además se va a evaluar un tipo de Sistema Urbano de Drenaje Sostenible.

MARCO DE REFERENCIA

MARCO TEÓRICO

La población de diseño, se proyecta a partir de la población actual del barrio San Martin, teniendo en cuenta consideraciones de flujo migratorio y tasa porcentual de proyección de población por parte del DANE.

El caudal de diseño se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_D = \frac{C_R * C * D}{86400}$$

Donde:

C: Consumo de Población proyectada al periodo de diseño al periodo de diseño, 1558 habitantes.

D: Densidad de población 421.08 Hab/has

C_R: Coeficiente de retorno, en este caso es 0.85

Se calcula el caudal de infiltración, el caudal de aguas residuales por conexiones erradas (Q_{ce}) y el Caudal Medio Diario de Aguas Residuales con la siguiente ecuación:

$$QMD = QD + QI + QC + QIN.$$

Donde:

QMD: Caudal Medio diario.

QD: Caudal de Aguas domésticas

QI: Caudal industrial.

QC: Caudal de Aguas Comerciales.

QIN: Caudal de aguas Industriales.

El factor de mayoración se calcula con la siguiente ecuación:

$$F = \frac{18 + \sqrt{P}}{4 + \sqrt{P}}$$

El Caudal Máximo Horario (Q_{MH}) se calcula así:

$$Q_{MH} = F * Q_{MD}$$

El caudal a tubo lleno en L/s se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_o = \frac{D^{8/3} S^{1/2}}{n}$$

El coeficiente de Manning

$$n = 0.0047 * D^{1/6}$$

Adicionalmente, en la Tabla 1 se muestran algunos valores del n de Manning para diferentes materiales.

Tabla 1. Valores de Coeficiente de Rugosidad Manning para varios materiales.
(RAS)

Valores del coeficiente de rugosidad de Maning para varios materiales		
Material	N	
CONDUCTOS CERRADOS		
Asbesto cemento	0.011	0.015
Concreto prefabricado interior liso	0.011	0.015
Concreto prefabricado interior rugoso	0.015	0.017
Concreto fundido en sitio, formas lisas	0.012	0.015
Concreto fundido en sitio, formas rugosas	0.015	0.017
Gres vitrificado	0.011	0.015
Hierro dúctil revestido interiormente con cemento	0.011	0.015
PVC, polietileno y fibra de vidrio con interior liso	0.010	0.015
Metal corrugado	0.022	0.026
Colectores de ladrillo	0.013	0.017
CONDUCTOS ABIERTOS		
Canal revestido en ladrillo	0.012	0.018
Canal revestido en concreto	0.011	0.020
Canal excavado	0.018	0.050
Canal revestido rip-rap	0.020	0.035

Ángulo interno

$$\theta = 2\cos^{-1}\left(1 - \frac{2y}{d}\right)$$

Área mojada (m²)

$$A = d^2/8(\theta - \sin\theta)$$

Perímetro mojado (m)

$$P = (\theta * d)/2$$

Profundidad Hidráulica (m)

$$D = d/8((\theta - \sin \theta)/(\sin(\theta/2)))$$

Energía Específica

$$E = \left(y + \frac{v^2}{2g}\right)$$

Radio Hidráulico

$$R = d/4 \left(1 - \frac{\sin(\theta)}{\theta}\right)$$

Ancho Superior

$$T = D \left(\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \right)$$

En la Figura 2 se muestran cada una de las variables geométricas mencionadas anteriormente.

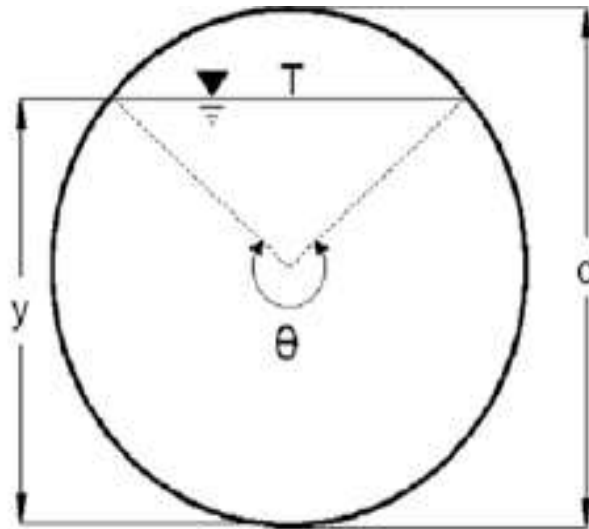


Figura 2 Características Geométricas de la sección circular (RAS, Título D, p.120)

MARCO CONCEPTUAL

Alcantarillado

El sistema de alcantarillado consiste en una serie de tuberías y obras complementarias necesarias para recibir y evacuar las aguas residuales de la población y la escorrentía superficial producida por las lluvias. De no existir estas redes de recolección de aguas, se pondría en grave peligro la salud de las personas debido al riesgo de enfermedades epidemiológicas y además se causarían importantes pérdidas materiales. Las aguas residuales pueden tener varios orígenes a saber, los cuales se describen a continuación.

Aguas residuales domésticas: son aquellas provenientes de inodoros, lavaderos, cocinas y otros elementos domésticos. Estas aguas están compuestas por sólidos suspendidos (generalmente materia orgánica biodegradable), sólidos sedimentables (principalmente materia inorgánica), nutrientes, (nitrógeno y fosforo) y organismos patógenos.

Aguas residuales industriales: se originan de los desechos de procesos industriales o manufactureros y, debido a su naturaleza, pueden contener, además de los componentes citados anteriormente respecto a las aguas domésticas, elementos tóxicos tales como plomos, mercurio, níquel, cobre y otros, que requieren ser removidos en vez de ser vertidos al sistema de alcantarillado.

Por otro lado, las aguas lluvias provienen de la precipitación y, debido a su efecto de lavado sobre tejados, calles y suelos, pueden contener una gran cantidad de sólidos suspendidos; en zonas de alta contaminación atmosférica, pueden contener algunos metales pesados y otros elementos químicos.

Adicionalmente es necesario conocer que los sistemas de alcantarillados se clasifican según el tipo de agua que conduzcan, así:

Alcantarillado separado:

- Alcantarillado Sanitario: Es el sistema de recolección diseñado para llevar exclusivamente aguas residuales domésticas e industriales.
- Alcantarillado Pluvial. Es el sistema de evacuación de la escorrentía superficial, producida por la lluvia.

Alcantarillado combinado: Es un alcantarillado que conduce las aguas residuales domésticas y las aguas lluvias por un mismo sistema de tuberías.

Este sistema puede ser adoptado en aquellas localidades donde existan situaciones que limiten el uso de otro tipo de sistemas o cuando resulte ser la mejor alternativa teniendo en cuenta los costos de disposición de las aguas residuales. Localidades con una densidad de drenaje natural pueden ser apropiadas para instalar este tipo de sistemas. Su adopción requiere una justificación técnica, económica, financiera y ambiental que garantice que representa la mejor alternativa de saneamiento, incluidos los costos asociados con la disposición final y eventual tratamiento.

Un sistema combinado puede tener ventajas en lo que a costos se refiere. Sin embargo, esto no debe ser analizado considerando el sistema de recolección y evacuación independientemente, sino en conjunto, además de considerar los requerimientos de tratamiento de las aguas residuales diluidas, lo anterior para evaluar si cumplen con la legislación vigente sobre vertimientos a cuerpos de agua receptores. Lo anterior teniendo en cuenta que las aguas lluvias entran al sistema a diluir las aguas residuales.

Por otro lado, en épocas de verano las velocidades pueden llegar a ser inferiores a las de autolimpieza debido a que solo fluyen las aguas residuales, lo cual puede causar la acumulación de materia orgánica, cuya descomposición puede generar olores ofensivos y gases. Por estas razones su selección requiere un análisis técnico, económico, financiero y ambiental que permita establecer por qué es mejor a un sistema separado.

Adicionalmente, el diseñador de un sistema de recolección y evacuación de aguas combinadas debe tener en cuenta todo lo establecido en el plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) establecido para el municipio o para la región.

En cuanto al método de estimación de la población futura, existe una diversidad de métodos, pero, en realidad, ninguno es 100% preciso, pues en todo caso siempre existirá un grado de incertidumbre, que puede depender de una variedad de factores, como podría ser el clima y nivel socioeconómico de la población, entre otros.

El caudal de diseño de aguas residuales constituye una pequeña fracción del total combinado, el caudal de diseño de los sistemas combinados es igual al caudal de aguas lluvias que llega como escorrentía a los tramos de la red. Sin embargo, cuando el caudal de aguas residuales es mayor que el 5% del caudal de aguas lluvias, debe tomarse como caudal de diseño la suma de los caudales de aguas residuales y aguas lluvias.

En este caso, el caudal de aguas residuales se establece con las contribuciones domésticas, industriales, comerciales, institucionales y de infiltración, sin adicionar las conexiones erradas. Es necesario revisar el comportamiento hidráulico de las tuberías para las condiciones de caudal mínimo inicial o caudal de tiempo seco inicial donde se tenga en cuenta el caudal máximo horario inicial de aguas residuales.

En general, para el cálculo de diseño de los sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias se debe hacer uso de los métodos modernos de lluvia-escorrentía que incluyan modelos de infiltración. Estos últimos modelos incluyen los de Horton, Soil Conservation Service of USA y el de Gren y Amp.

El cálculo del caudal de aguas lluvias para un sistema de recolección y evacuación de aguas lluvias se lleve a cabo utilizando un método de generación de hidrogramas, además, el diseñador debe obtener los hidrogramas de precipitación efectiva a través del uso de modelos de infiltración, con el fin de determinar el hidrograma de escorrentía directa, haciendo uso del modelo lluvia escorrentía. A continuación, se muestra la ecuación del método racional:

$$Q = CIA$$

Q: Caudal pico de aguas lluvias (L/s)

C: Coeficiente de impermeabilidad definido para el área tributaria (Adimensional).

I: Intensidad de precipitación correspondiente al tiempo d concentración (L/s Ha)

A: Área tributaria de drenaje.

Intensidad de precipitación

El diseñador debe calcular la intensidad de precipitación, ya que este es un parámetro común a todos los modelos utilizados para estimar el caudal de aguas lluvias. El cálculo de la intensidad de precipitación depende del modelo de infiltración o método de estimación de caudal de aguas lluvias que sea utilizado por el diseñador.

Para el caso del método racional el diseñador debe utilizar la intensidad media de precipitación dada por las curvas de Intensidad Duración Frecuencia (IDF) para el periodo de retorno de diseño escogido.

Para tener en cuenta la variabilidad espacial de la lluvia, el diseñador debe utilizar unos factores de reducción de la intensidad media de precipitación como función del área tributaria de la cuenca. Para en los sistemas de todos los niveles de complejidad los valores deben contar con el factor de reducción de la intensidad media de precipitación para diferentes áreas de drenaje.

Conexiones domiciliarias: se debe revisar la información sobre la prestación actual del servicio de recolección y evacuación de aguas residuales y/o aguas lluvias en el sector objeto del proyecto, identificar las contribuciones especiales.

Calibración de la Red de Alcantarillado para la Operación: para sistemas nivel complejidad alto y como recomendación para sistemas con nivel de complejidad medio alto, en aquellos casos en que la red de alcantarillado de aguas residuales objeto del diseño forme parte de un sistema existente y pueda llegar a afectar en forma significativa la hidráulica de la red existente, el diseñador debe verificar a través de un modelo hidráulico calibrado la capacidad de dicha red, con el fin de establecer y verificar las nuevas condiciones hidráulicas de operación. En caso que dicho modelo calibrado no exista, en el diseño se debe establecer una forma hidráulica de calibración de la red existente estimando los coeficientes de rugosidad absoluta y los diámetros internos reales de las tuberías que conforman el sistema existente. Para esto en el diseño se deben establecer los puntos y forma de medición de caudales y niveles de aguas residuales y la forma de utilizar el modelo hidráulico de la red existente para establecer su calibración. En todos los casos el modelo hidráulico, de la red existente debe basarse en las ecuaciones de Sanint Venant y debe tener capacidad de realizar análisis de flujo no permanente. Se sugiere que las personas prestadoras del servicio de alcantarillado en particular, para los sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto, hagan uso de los modelos calibrados entregados por los diseñadores, con el fin de mantener modelos calibrados de todas las redes principales del sistema de alcantarillado, a las cuales se considera que se pueden conectar, en el futuro, nuevas redes, o ampliaciones a redes de alcantarillado de aguas residuales.

Análisis de sitios de vertimientos. Se den de identificar las poblaciones localizadas aguas debajo de los posibles sitios de entrega y/o disposición de las aguas

residuales evacuadas de la localidad y se deben de analizar las características de asimilación de los cuerpos receptores (ríos, quebradas, arroyos, humedales, lagos, Ciénegas, embalses, y mar) y los posibles efectos ambientales de los vertimientos con y sin tratamiento, con base en la normativa vigente. Si el sitio de disposición final es el mar, se debe determinar el régimen de mareas, vientos y corrientes marinas para el sistema con nivel de complejidad alto. Si es una corriente de agua para sistemas con nivel de complejidad medio alto y alto, se debe estimar el caudal mínimo semanal con un periodo de retorno de 10 años para determinar su capacidad de depuración y la frecuencia de niveles extremos máximos para evitar remansos en la descarga. Si el sistema receptor es el suelo asociado a un acuífero, deberá aplicarse lo establecido en la normativa específica vigente. Para los sistemas con nivel de complejidad bajo y medio, en localidades con topografía plana, es recomendable estimar el caudal mínimo semanal anterior. Adicionalmente deben tenerse en cuenta las consideraciones del título E del RAS “Tratamiento de aguas residuales”.

Adicionalmente, debe cumplirse con los requerimientos establecidos en el plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) definido para el municipio o región geográfica objeto del proyecto. Debe prestarse especial atención a los objetivos de calidad de agua definidos por la autoridad ambiental para el cuerpo receptor por parte de la autoridad ambiental competente. El análisis y la escogencia de los sitios de vertimientos deben guardar concordancia con la generación de alternativas en la planeación del sistema. De acuerdo con lo anterior la escogencia del punto geográfico y número de puntos de vertimientos debe estar soportada por los estudios de factibilidad económica, técnica y ambiental del sistema. En todo caso el vertimiento requiere la obtención previa del permiso de vertimiento, o el PSMV, a que haya lugar de la autoridad ambiental competente.

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

La Resolución 330 de 2017 del Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, señala que, para nuevos desarrollos urbanos, donde se modifique la cobertura del suelo, se deben de generar estrategias con el fin de mitigar el efecto de la impermeabilización de las áreas a raíz del aumento de las aguas de escorrentía. Se requiere diseñar sistemas urbanos de drenajes sostenibles, con el objeto de reducir mínimo un 25% el caudal pico del hidrograma de creciente de diseño, a fin de evitar sobrecarga de los sistemas pluviales y posteriores inundaciones, para ello adicionalmente se debe hacer un análisis de las condiciones de escorrentía antes y después del proyecto versus la capacidad de flujo de los cuerpos receptores ya sea el sistema de alcantarillado de drenaje o cuerpos naturales.

La norma de la EAAB NS -166 Criterios para el Diseño y Construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS define el SUDS como el conjunto de

soluciones que se adoptan en un sistema de drenaje urbano con el objeto de retener el mayor tiempo posible las aguas lluvias en su punto de origen sin generar problemas de inundación minimizando los impactos del desarrollo urbanístico en cuanto a la calidad y cantidad de la escorrentía. La filosofía del SUDS es tratar de reproducir de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana.

Modelación Hidráulica de Redes de Alcantarillado

Se debe realizar el diseño de la red de alcantarillado mediante el empleo de la formulación matemática que defina los diámetros, las pendientes y los parámetros hidráulicos de los conductos del sistema. El cual deberá ser verificado mediante el empleo de una modelación hidráulica de las redes de alcantarillado, mediante el uso de un programa que permita simular entre otros el sistema existente, el cual debe estar basado en ecuaciones de resistencia fluida, que permita obtener resultados de tal forma que el modelo matemático represente en gran medida el modelo físico o prototipo de la red de alcantarillado.

METODOLOGÍA

El diseño de los sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial del barrio San Martín del municipio de Soacha se realizará utilizando la metodología que se describe a continuación.

RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN

La investigación de las características principales que influyen en el sistema de alcantarillado son la topografía del barrio San Martín del Municipio de Soacha, la población actual y proyectada, el análisis de información de estudios realizados en el municipio de Soacha por entidades como el servicio Geológico Colombiano y la Universidad Nacional de Colombia. Además de la información que se obtenga de las visitas en campo. Lo que se complementará con la información adquirida en la biblioteca, páginas web, tesis, libros y artículos de revistas de investigación entre otros.

ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Documentada la información se procede a ser analizada en la actualidad y se procede a realizar una serie de cálculos desde la proyección de la población, trazado de la red y a partir de cálculos hidráulicos se materializa en la generación de caudales, tipo de material, el diámetro de la tubería, estructuras de conexión y condiciones hidráulicas de funcionamiento.

PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Intensidad de la lluvia

Las estaciones que se encuentran más cercanas al área de estudio son las mostradas en la Tabla 2. La estación que se seleccionó por ser más cercana al área del proyecto es la estación Sibate Apostólica con código 21200510 con categoría PG.

Tabla 2. Información Estaciones de Influencia en el Barrio San Martín Municipio de Soacha-Cundinamarca. Fuente IDEAM

CODIGO	CATEGORIA	NOMBRE	CORRIENTE	MUNICIPIO	ALTITUD	LATITUD	LONGITUD
21201660	PG	FUTE	BOGOTÁ	SOACHA	2607	4.60	-74.28
2205720	LM	SAN JORGE GRANJA	SOACHA	SOACHA	2952	4.52	-74.20
21200510	PG	SIBATE APOSTOLICA	MUNA	SIBATE	2618	4.52	-74.25

Por otro lado, la información obtenida a partir de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia, son la base de información climatológica para el cálculo de los caudales de diseño para las redes de alcantarillado de aguas lluvias en una zona determinada. La intensidad de la lluvia se obtiene a partir del periodo de retorno específico, con una frecuencia y duración de la tormenta de diseño determinadas.

Adicionalmente, la intensidad es inversamente proporcional a la duración y directamente proporcional a la frecuencia de la lluvia y para poder determinar un valor de Intensidad de lluvia es necesario definir la frecuencia de diseño de la lluvia y su duración suponiendo que la intensidad de lluvia es uniforme en toda la cuenca.

El periodo de retorno, de la lluvia de diseño se selecciona de acuerdo con la importancia de las áreas y los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones puedan ocasionar a los habitantes, el comercio, la industria, el tráfico y la infraestructura. En la Tabla 3 se muestran una serie de periodos de retornos sugeridos, es importante resaltar que nunca los periodos de retorno pueden ser menores a los mostrados en la tabla.

Tabla 3. Periodo de retorno y características del área de drenaje. Fuente tabla 16 Resolución 330 de 2017

CARACTERISTICAS DEL AREA DE DRENAJE	PERIODO DE RETORNO AÑOS
Tamos iniciales en zonas residenciales con areas tributarias menores de 2 has	3
Tamos iniciales en zonas comerciales o industriales, con areas tributarias menores de 2 has	5
Tamos de alcantarillados con areas tributarias entre 2 y 10 has	5
Tamos de alcantarillados con areas tributarias mayores de 10 has	10
Canales abiertos que drenan áreas menores a 1000 has	50
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 has	100
Canales abiertos en zonas montañosas(alta velocidad) o a media ladera que drenan áreas mayores a 1000 has.	100

De acuerdo al convenio Interadministrativo 1201 de 2017 entre el municipio de Soacha y la Universidad Nacional de Colombia en el Estudio de Amenazas y Vulnerabilidad por Avenidas Torrenciales e Inundaciones del Municipio de Soacha – Cundinamarca se relaciona la información de precipitación máxima en 24 horas promedio multianual (mm/día). Lo cual se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Precipitación máxima en 24 horas. Fuente Convenio 1201- 2017
Universidad Nacional - Municipio de Soacha

Precipitación Maxima en 24 Horas promedio multianual (mm/día)														
ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	CODIGO
SIBATE APOSTOLICA	12	13	18	21,1	19,1	14,4	9,5	9,8	15,4	18,9	18,9	17,8	15,7	21200510

Se utiliza la ecuación sintética regionalizada (Díaz Granados 1998), para la construcción de las curvas de Intensidad Duración Frecuencia:

$$i = \frac{a * T^b M^d}{\left(\frac{t}{60}\right)^c}$$

Donde:

I: Intensidad de precipitación en mm/hora.

T: Periodo de retorno en años.

M: Precipitación Máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual.

t: Duración de la lluvia en minutos.

a,b,c,d: Parámetros de ajuste de la regresión. Estos parámetros fueron regionalizados, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas de Intensidad - Duración y Frecuencia IDF para Colombia

REGIÓN	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía(R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

A continuación, se presentan los resultados de los valores de Intensidades de lluvia para varias intensidades de tormentas y periodo de retorno determinado para la estación Sibate Apostólica (Tabla 6).

Tabla 6. Valores de IDF Estación SIBATE APOSTOLICA

CURVA IDF		ESTACION SIBATE APOSTOLICA PERIODO DE RETORNO (AÑOS)										
		2	2,33	3	4	5	10	25	50	100	250	500
DURACION DE LA LLUVIA(MIN)	10	43,66	44,87	46,96	49,46	51,48	58,33	68,78	77,92	88,28	104,11	117,94
	20	27,63	28,40	29,72	31,30	32,58	36,91	43,53	49,32	55,87	65,89	74,64
	30	21,14	21,73	22,74	23,95	24,93	28,25	33,31	37,74	42,75	50,42	57,12
	40	17,49	17,97	18,81	19,81	20,62	23,36	27,55	31,21	35,36	41,70	47,24
	50	15,09	15,51	16,23	17,10	17,80	20,16	23,78	26,94	30,52	35,99	40,77
	60	13,38	13,75	14,39	15,16	15,78	17,88	21,08	23,88	27,06	31,91	36,15
	70	12,09	12,42	13,00	13,69	14,25	16,15	19,04	21,57	24,44	28,82	32,65
	80	11,07	11,37	11,90	12,54	13,05	14,79	17,44	19,75	22,38	26,39	29,90
	90	10,24	10,52	11,01	11,60	12,07	13,68	16,13	18,28	20,70	24,42	27,66
	100	9,55	9,82	10,27	10,82	11,26	12,76	15,05	17,05	19,31	22,78	25,80
	110	8,97	9,22	9,65	10,16	10,58	11,98	14,13	16,01	18,14	21,39	24,23
	120	8,47	8,70	9,11	9,59	9,99	11,31	13,34	15,12	17,12	20,19	22,88

En la siguiente imagen se presentan las curvas IDF de la estación Sibate Apostólica.

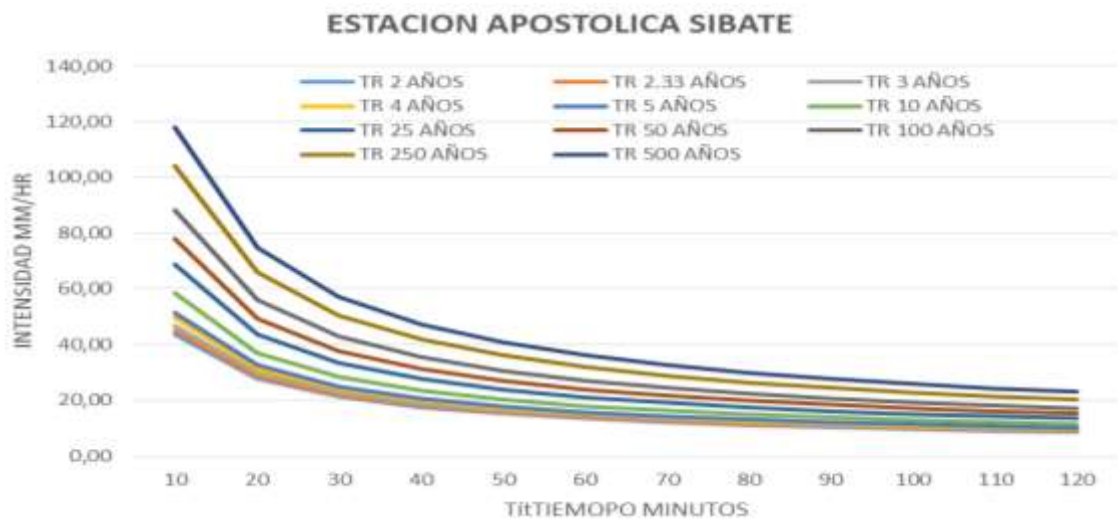


Figura 3. Curvas IDF Estación Sibate Apostólica

Proyección de la Población de Diseño

Se realizó el cálculo para un horizonte de 25 años teniendo en cuenta las siguientes consideraciones u observaciones:

- La Secretaria de Planeación y Ordenamiento Territorial del municipio de Soacha señala que la población del barrio San Martín con año base 2017 es de 724 habitantes distribuido en un área de 3 has más 7941m².
- El DANE no suministra información de censo por barrios, por el contrario, da un total por municipios, departamento y/o país y actualmente existe proyección de población por parte del DANE hasta el año 2020; los resultados oficiales del censo 2018 por ahora no están disponibles para el público.
- De acuerdo con el artículo 40 de la resolución 330 de 2017, el periodo de diseño para alcantarillados, acueductos y aseo es de 25 años y para este caso su proyección comienza desde el año 2019 finalizando en el año 2044.
- En la aprobación por parte de la CAR del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimiento PSMV con la resolución 2205 del 26 de octubre de 2016, se siguieron los mismos lineamientos de cálculo de proyección de población del PGIRS, anotando para el periodo 2017-2019 información de la propuesta de modificación del POT, en la cual se hace un estudio sociodemográfico, teniendo en cuenta los crecimientos vegetativos y migratorios, en el entorno de Soacha y los municipios vecinos y la disponibilidad de suelo urbanizable en la zona rural.

Los factores que intervienen son los siguientes.

1. La Disponibilidad del suelo urbano en Soacha y Bogotá.
2. Los precios del suelo en Bogotá, en su región próxima.
3. El mejoramiento de la conectividad y movilidad de Soacha con Bogotá, con la llegada del sistema de transporte distrital Transmilenio.
4. La calidad urbanística de los nuevos desarrollos residenciales.
5. El mejoramiento de los equipamientos sociales (Salud, Educación y Recreación).
6. Las decisiones de planificación en el POT.

Con base en lo anterior se proyectaron cuatro posibles desarrollos migratorios.

- A. Sucesos de migración **muy lenta**: Supone que el municipio captará entre el 1% y el 25% de la población de desborde de los grupos de menores recursos.

- B. Suceso de migración **lenta**: Supone que el Municipio captara entre el 5% y el 25% de la población de desborde de los grupos de menores recursos.
- C. Suceso de migración **media**. Supone que el municipio captara entre los 20% y 45% de la población de desborde de los grupos menores y medianos recursos.
- D. Suceso de migración **rápida**. Supone que el municipio captara entre los 20% y 55% de la población de desborde de los grupos menores y medianos recursos.

A partir de un supuesto de migración muy lenta se tiene las proyecciones en el barrio San Martín como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Proyección de población 2017-2019

AÑO	POBLACION
2017	724
2018	818
2019	924

- Periodo 2020 a 2044. Se realizaron cálculos a partir de la tabla 7, donde se asume la tasa de crecimiento del DANE, en sus proyecciones para los años 2015 a 2020 y se aplica un modelo matemático para calcular su proyección. El modelo aplicado es el exponencial con una tasa de 2.09 % (De acuerdo a las proyecciones de población del DANE entre 2015 y 2020), partiendo de los resultados obtenidos en la tabla anterior, se anota que a la fecha no existe proyección poblacional por parte del DANE del periodo 2020-2044 y se continua con la proyección poblacional del DANE del periodo 2015-2020 del 2.09%.

Tabla 8. Proyección población Año 2020-2044

AÑO	POBLACION	CONTEO
2020	943	1
2021	963	2
2022	983	3
2023	1004	4
2024	1025	5
2025	1047	6
2026	1069	7
2027	1092	8
2028	1115	9

2029	1138	10
2030	1162	11
2031	1187	12
2032	1212	13
2033	1238	14
2034	1264	15
2035	1290	16
2036	1318	17
2037	1346	18
2038	1374	19
2039	1403	20
2040	1433	21
2041	1463	22
2042	1494	23
2043	1525	24
2044	1558	25

Por lo anterior, la población de Diseño del año 2044 es de 1558 Habitantes.

Diseño del Alcantarillado Pluvial y Sanitario

Corresponde al trazado de las tuberías y al diseño hidráulico de las mismas, con sus condicionantes hidráulicos.

Trazado

Trazado Redes de Alcantarillado y Pluvial. Se parte de los criterios establecidos en la resolución 330 de 2017 y lo estipulado por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, en lo relacionado con la ubicación de los pozos de inspección, la conexión entre ellos, el trazado tendido de tuberías para servicios de aguas residuales, lo que abarca el cubrimiento de las manzanas catastrales y teniendo en cuenta las cotas topográficas.

El Artículo 138 de la resolución 330 de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio indica aspectos sobre la localización de redes de alcantarillados, los cuales se describen a continuación:

1. Por ser un sistema nuevo, la red de alcantarillado pluvial se trazó en el eje de la calzada, mientras que las redes de alcantarillado sanitario hacia un

costado, a una distancia aproximada, de un cuarto del ancho de la calzada, respetando la distancia libre con respecto a otras redes.

2. Para las tuberías sanitarias, se mantuvo la distancia de 0.5 metros de la acera y 1.5 metros del paramento, medidas entre la superficie externa del conducto y del sardinel y del paramento según corresponda.
3. Se mantiene la distancia mínima libre entre los colectores que conforman la red del sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias y las tuberías de otras redes de servicios públicos de un 1.0 metro en la dirección horizontal y 0.3 metros en la dirección vertical, medidas entre las superficies externas de los dos conductos.
4. Los pozos se trazaron teniendo en cuenta los siguientes criterios.
 - Al inicio de un tramo.
 - Cada 80-120 metros.
 - Cambio de dirección.
 - Cambios de pendiente.
 - Intersección de tuberías.
 - Cambios en los diámetros de la Tubería.
 - Cambios en el material de las tuberías.
 - Cada 300 metros para interceptores y emisores sin aporte de caudal.

Dotación neta máxima

De acuerdo con la resolución 330 de 2017, tabla 9, la dotación neta máxima para el barrio San Martín es de 120 L/HAB-DÍA.

Tabla 9. Dotación Neta Máxima. Fuente: Resolución 330 de 2017, Min de V-C y T.

ALTURA PROMEDIO DEL	<i>DOTACION NETA MÁXIMA</i> (L/HAB*DÍA.)
mayor a 2000 m.s.n.m	120
1000-2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Caudal de Aguas Residuales Domésticas:

Corresponde al consumo de agua doméstica para cada uno de los tramos, se calcula con la proyección de la población utilizando la expresión:

$$Q_D = \frac{C_R * P * D}{86400}$$

De donde se obtiene que QD: 0.484783 L/s-Ha.

Caudal Aguas Residuales Industriales (QI)

Por las condiciones socioeconómicas del barrio San Martin, no hay industria en este sector por lo cual su valor es de 0 (QI=0).

Caudal de Aguas Residuales Comerciales (QC)

Siendo consecuente con el nivel de desarrollo socioeconómico del barrio San Martin, no se presenta una gran actividad comercial en este sector del municipio de Soacha, por lo cual su valor es 0.

Caudal de Aguas Residuales Institucionales

Para determinar este valor se tienen en cuenta las siguientes instituciones:

- Colegio de primaria área aproximada de (12x12) m² por nivel y por cuatro niveles: 576 m².
- Proyección salón comunal 900 m².
- Proyección parque: 1146 m².

Total área Institucional: 2622 m² = 0.2622 Ha

QIN = 0.5 L/(s*Has).

A = 0.1311 L/s

Siendo A, el área Institucional.

Caudal Medio Diario

El caudal medio diario de aguas residuales corresponde a los aportes domésticos, industriales, comerciales e institucionales, lo que se ve reflejado en la siguiente ecuación:

$$QMD = QD + QI + QC + QIN.$$

Donde:

QMD: Caudal Medio diario.

QD: Caudal de Aguas domésticas

QI: Caudal industrial.

Qin: Caudal Institucional.

En este caso, el caudal medio diario se estima para las condiciones iniciales y finales del sistema es QMD: 0.977 L/Se Ha.

Caudal máximo Horario (QMH)

El caudal máximo horario final de aguas residuales es la base para establecer el caudal de diseño de cada una de las tuberías que conforman una red de alcantarillado de aguas residuales. El caudal máximo horario final del día de máximo consumo, se calcula partir del caudal final medio diario utilizando un factor de mayoración y la siguiente ecuación:

$$QMH = QM * \frac{18 + \sqrt{P}}{4 + \sqrt{P}}$$

Fuente: Elementos de diseño para Acueductos y Alcantarillados por López Cualla.

$$QMH = 3.583 \text{ L/s*Ha}$$

Caudal de Aguas Residuales por Conexiones Erradas (Qce)

En el barrio San Martín también se proyecta realizar el diseño de un Alcantarillado pluvial por lo cual su aporte máximo es de 0.2 (L/s*Ha)

Caudales por Infiltración (Qinf)

En este caso por ausencia de una medición directa se asume 0.2 (L/s*Ha)

Caudal de Diseño:

El caudal de diseño para cada una de las tuberías que conforman la red de alcantarillado de aguas residuales corresponde a la suma del caudal máximo horario final del día de mayor consumo de agua potable QMH, más los aportes de caudal de infiltración y caudal de aguas lluvias por conexiones erradas.

$$QDT = QMH + Q_{CE} + Q_{INF}.$$

Donde:

QDT: Caudal de Diseño para cada tramo de la red. (L/s *Ha)
QMH: Caudal máximo horario (L/s*Ha).
QINF: caudal por infiltraciones (L/s*Ha).
QCE: Caudal por infiltraciones erradas. (L/s*Ha)
QDT: 3.98 (L/s*Ha)

Modelación:

A continuación, se muestra la explicación paso a paso del diseño hidráulico para el alcantarillado sanitario y pluvial del barrio San Martin:

Columna [1]: Inicio del sistema de alcantarillado sanitario

Columna [2]: Numeración del pozo inicial y final de cada tramo.

Columna [3]: Área tributaria parcial por tramo expresada en m².

Columna [4]: Área tributaria acumulada expresada m².

Columna [5]: Área tributaria acumulada expresada en hectáreas.

Columna [6]: Área tributaria acumulada en hectáreas.

Columna [7]: Factor de mayoracion.

Caudal Aguas Servidas

Columna [8]: Caudal Medio Horario: $QMH = FM * QMD$.

Columna [9]: Coeficiente de conexiones erradas. $QCE = \text{Área Acumulada} * Qce$

Columna [10]: Caudal por Infiltración. $QI = \text{Área Acumulada} * Q_{INF}$

Columna [11]: Caudal de diseño del Alcantarillado Sanitario $Q_{diseño} = (QMH + QINF + QCE) \text{ L/s}$.

Columna [12]: Caudal adoptado.

Columna [13]: Q Diseño m³/s.

Columna [14]: Longitud del tramo.

Columna [15]: Pendiente Tramo.

Columna [16]: Diámetro de la tubería en metro, se calcula con la ecuación de Manning.

$$D=1.548\left[\frac{n*[13]^{3/8}}{[15]^{0.5}}\right]$$

Dónde: n coeficiente de rugosidad de Manning (es 0.009 para pvc)

[13]. Caudal m³/s.

[15]. Pendiente %.

Columna [17]: Diámetro comercial en pulgadas.

Columna [18]: Diámetro exterior en mm

Columna [19]: Diámetro interior en mm

Columna [20]: Material de la tubería

Columna [21]: n de Manning.

Columna [22]: Caudal a tubo lleno en L/s. $Qo = 0.312 \frac{[\emptyset_{int}]^{(8/3*}[s]^{0.5}}{n}$

Columna [23]: Velocidad a tubo lleno (m/s)

$$Vo = (([Qo] * 4))/(\pi * [\emptyset_{int}]^2)$$

Columna [24]: Relación entre caudal de diseño y caudal a tubo lleno. $\frac{[QD]}{[Qo]} < 0.85$

Columna [25]: Si cumple con los parámetros Qdiseño/Q

Columna [26]: Y/d= (D/d) * 0.80

Columna [27]: VR/Vo = Velocidad real tubería/velocidad a tubo lleno.

Columna [28]: D/d = (diámetro tubería/lámina de agua)

Columna [29]: R/Ro=radio hidráulico al caudal de diseño/radio hidráulico a tubo lleno

Columna [30]: Lámina de agua en metros. Pro. Lamina = $\theta_{com} * Y/d * 0.0254$

Columna [31]: Radio Hidráulico. $Radio\ Hidraulico = \frac{\frac{R}{Ro} * Pend * 0.0254}{4}$

Columna [32]: Tensión Cortante N/m²

$$\text{Tensión Cortante} = 9810 \cdot \text{Pend} \cdot \text{Radio Hidráulico}$$

Columna [33]: Si cumple con los parámetros de tensión cortante.

Columna [34]. Profundidad Hidráulica. Prof. Hidráulica = $\theta \cdot (D/d) \cdot 0.0254$

Columna [35]: Velocidad Real $V_r = V_o \cdot \left(\frac{V_R}{V_o}\right)$

Columna [36]: Cabeza de Velocidad. $V_R = V_{\text{real}}^2 / 2g$

Columna [37]: Número de Froude $NF = \frac{0.319 \cdot V_{\text{real}}}{\text{Prof Hidraulica}^{0.5}}$

Columna [38]: Clasificación del Nf. , si cumple con los parámetros para Nf

Columna [39]: Profundidad Hidráulica. Prof. Hidráulica = $\theta \cdot (D/d) \cdot 0.0254$

Columna [40]: Energía Específica. $E = d + V_{\text{real}}^2 / 2g$

Columna [41]: Diámetro pozo en m

Columna [42]: Relación r_c/D_s . Relación $(D_P/2)/D_s$

Columna [43]: Pérdida de energía por cambio de dirección $\Delta H_d = kV^2/2g$

$$\Delta H_d = kV^2/2g$$

Tabla 10. Valores coeficiente K. Pérdida Unión Tuberías

Regimen de flujo	r_c/D_s	k
subcritico	1-1,5	0,4
	1,5-3	0,2
	> 3	0,05
supercritico	6-8	0,4
	8-10	0,2
	> 10	0,05

Columna [44]: Pérdidas por la unión de Tuberías. $\Delta H_t = k(V_2^2/2g - V_1^2/2g)$

K= 0.2 para aumento de velocidad.; 0.1 para disminución de velocidad

Columna [45]. Pérdidas. Es la suma de las pérdidas por la unión tuberías más las pérdidas por cambio de dirección. $\Delta H_e = \Delta H_t + \Delta H_d$

Columna [46]. Relación del diámetro del Pozo con el diámetro de la Tubería Saliente. (Dp/Ds)

Columna [47]. Se calcula el valor K en función de la columna 46 y el valor de la siguiente tabla 11

Tabla 11. Valores coeficientes K.

Coeficiente K en pozos con union Caída	
Dp/Ds	K
>2,0	1,2
1,6-2,0	1,3
1,3-1,6	1,4
<1,3	1,5

Columna [48]. Entrada no sumergida. $0.3192Q/D_s 2.5 \leq 0.62$.

Q. Caudal Tubería de salida.

Ds. Diámetro Interno Tubería de salida.

Columna [49]. Incremento de alturas debido a pérdidas. Se obtiene empíricamente con la ecuación

$$Ee = 0.589Ds \left(\frac{Q}{Ds \sqrt{gDs}} \right)^{2.67}$$

Columna [50]. EC. Energía critica para la condición de flujo crítico.

$$Ec = (y + \frac{vc^2}{2g})$$

Columna [51]. Relación de la caída en el pozo con el Diámetro de la Tubería de Salida.

$$\frac{Hw}{Ds}$$

Columna [52]. Hw. Caída en el pozo en m. $\frac{Hw}{Ds} =$

Columna [53]. Pérdida de energía en el Pozo m. $H_p = H_w - y_1$

Hp: Perdida de energía en el pozo en m.

Hw: Caída en el pozo en m

Y1: Profundidad del flujo en el colector de entrada m

DEFINICION DE COTAS.

Columna [54] y [55]. Cota rasante de entrada y salida se traen del plano topográfico.

Columna [56] y [57]. Calculo de la cota clave de entrada y salida.

Para los tramos iniciales, se calcula restándole a la cota rasante la profundidad mínima a la que debe estar la tubería.

Para los demás tramos la cota clave de entrada se calcula sumándole el diámetro a la cota batea y para la cota clave de salida, se le resta la caída en el tramo a la cota clave de entrada,

Columna [58] y [59]. Calculo de la cota batea de entrada y salida. Es la resta entre la cota clave de la tubería y el diámetro interno de la tubería msnm,

Columna [60] y [61]. Cota lamina se obtiene sumándole a la cota batea la lámina del agua en msnm

Columna [62], [63], [64]. Cota de Energía, se hace sumándole a la cota batea la energía específica y para hacer el empate por energía en la columna 64 se resta a la cota de energía a la salida la caída en el pozo en el tramo msnm

Columna [65] y [66]. Corresponde a la profundidad a la que se quiere enterrar la tubería. Este es el parámetro que se modifica para que todos los parámetros de diseño cumplan, ya sea enterrando más la tubería o elevándola.

Alcantarillado Pluvial

Se anota las columnas que no son comunes a los dos sistemas.

Columna [7]. Velocidad supuesta m/s.

$$V_s = \alpha * \sqrt{PENDIENTE}$$

Columna [8]. La constante α depende del tipo de suelo RAS Tabla D.4.10 m/s

Columna [9.]. Tipo entrada (m)

$$Tiempo\ de\ Entrada = \frac{L}{60 * V_s}$$

Columna [10]. Tiempo de concentración asumida (min).

$$Tiempo.Conc.Asumi = 15 + \frac{L}{60 * V_s}$$

Columna [11]. Tiempo de Transito (Min).

Tiempo Transito =Tiempo Entrada + Tiempo Con. Asumido.

Columna [12]. Tiempo de Retorno (Años). Dependiendo de la complejidad del sistema y la caracterización del Drenaje. Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Resolución 330 de 2017 Tabla 16 Periodos de Retorno.

Columna [13]. Intensidad de la Lluvia mm/h

$$i = \frac{a * T^b M^d}{\left(\frac{t}{60}\right)^c}$$

Columna [14]. Coeficiente de Impermeabilidad o Escorrentía (*RAS TABLA D 4.7*)

Columna [17]. Q Adoptado =C*i* Área Acumulada. (100/36)

Columna [18]. Caudal de diseño m³/s.

$$Q_{diseño} = \pi 0.001 * \sum Q_{Adoptado}$$

Columna [19]. Longitud m.

Columna [20]. Pendiente %

Columna [21]. Caída en el Tramo en m

Columna [22]. Diámetro Comercial en pulgadas.

Columna [23]. Diámetro Comercial (Depende del material de tubería)

Columna [24]. Diámetro exterior en mms

Columna [25]. Diámetro interior en mms.

Columna [26]. Material en función al diámetro escogido para el diseño.

Columna [27]: n de Manning.

Columna [28]. Caudal a tubo lleno
$$Q_o = 0.312 \frac{[\emptyset_{int}]^{(8/3 * [s]^{0.5})}}{n}$$

Columna [29]: Velocidad a tubo lleno (m/s)

$$Vo = (([Qo] * 4))/(\pi * [\emptyset int]^2$$

Columna [30]: Relación entre caudal de diseño y caudal a Tubo lleno. $\frac{[QD]}{[Qo]} < 0.85$

Columna [31]: Si cumple con los parámetros Qdiseño/Qo

RESULTADOS

PERFILES

A continuación, se muestra que el empalme de la tubería sanitaria y pluvial desde el pozo 11 hasta los pozos de descarga en la autopista sur, ubicados en coordenadas 983492,215 Este 997189,74 Norte.

Alcantarillado Sanitario

A continuación, se muestra perfiles donde se tiene Cota rasante, Cota Clave y Cota Batea del tramo

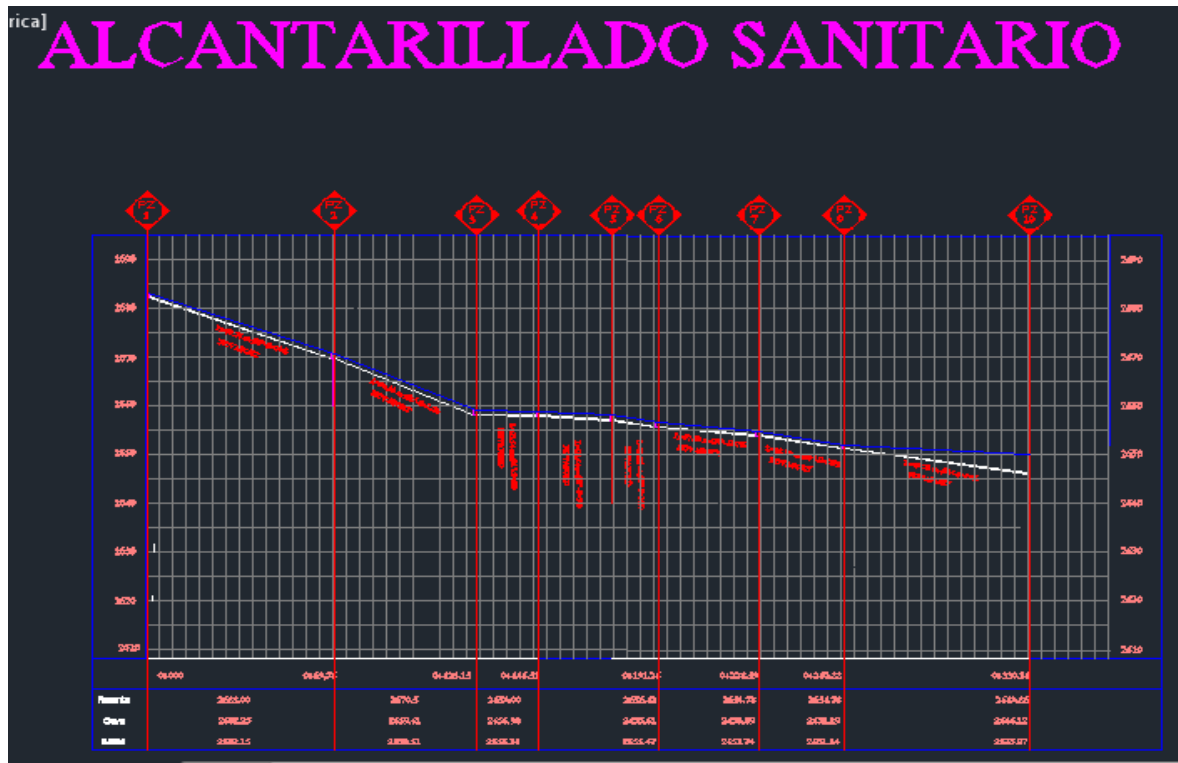


Figura 4. PZ 1 hasta el pozo 10.

Alcantarillado Pluvial

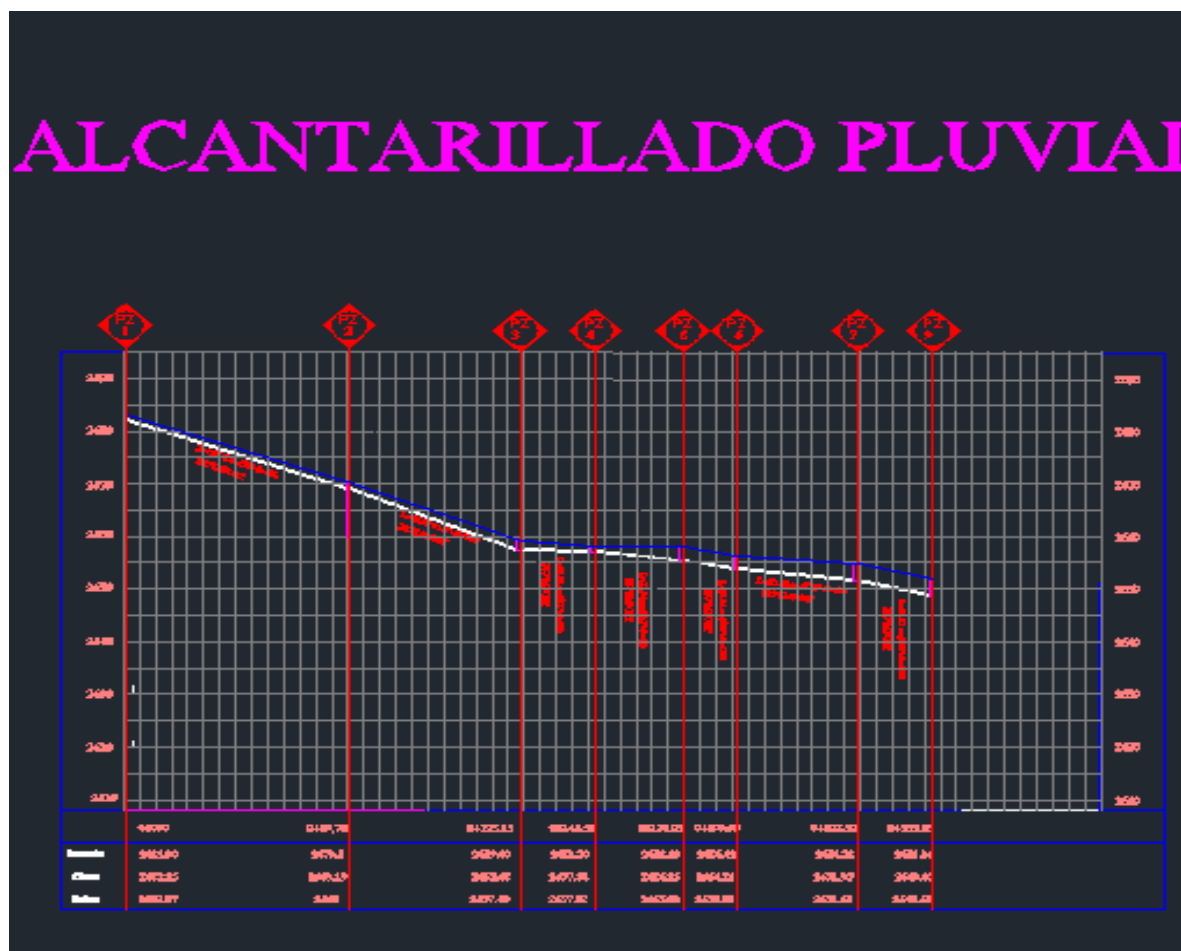


Figura 5. PERFIL PZ 1 a PZ 9

MODELACIÓN EN SWMM

Alcantarillado Sanitario

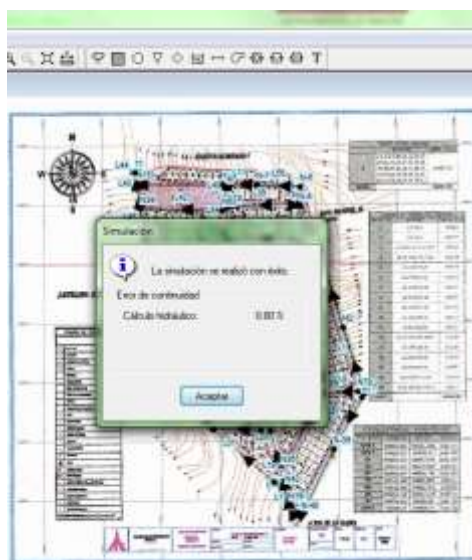


Figura 6. Margen de error en la modelación del alcantarillado sanitario en SWMM

En la figura 6 se puede observar que el margen de error es 0.00, lo que indica que la modelación es aceptable. Por otro lado, en la Tabla 12 se muestran los resultados del modelo.

Tabla 12. Resultados modelo SWMM Sanitario

L1	CONDUIT	0.06	0 00:00	0.79	0.00	0.03
L2	CONDUIT	0.10	0 00:00	0.98	0.00	0.04
L3	CONDUIT	0.14	0 00:00	0.61	0.00	0.04
L4	CONDUIT	0.07	0 00:00	0.97	0.00	0.03
L5	CONDUIT	0.10	0 00:00	1.03	0.00	0.04
L6	CONDUIT	0.13	0 00:00	0.94	0.00	0.05
L7	CONDUIT	0.17	0 00:00	0.54	0.00	0.05
L8	CONDUIT	0.31	0 00:00	0.78	0.01	0.06
L9	CONDUIT	0.33	0 00:00	1.01	0.01	0.05
L11	CONDUIT	0.41	0 00:00	1.26	0.01	0.05
L12	CONDUIT	0.48	0 00:00	1.33	0.01	0.06
L14	CONDUIT	0.17	0 00:00	0.81	0.01	0.06
L16	CONDUIT	0.10	0 00:00	0.30	0.01	0.05
L17	CONDUIT	0.11	0 00:00	0.78	0.00	0.05
L18	CONDUIT	0.12	0 00:00	0.69	0.01	0.06
L19	CONDUIT	0.14	0 00:00	0.95	0.00	0.05
L20	CONDUIT	0.33	0 00:00	0.66	0.01	0.07
L21	CONDUIT	0.34	0 00:00	0.97	0.02	0.09
L23	CONDUIT	0.37	0 00:00	1.31	0.01	0.08
L24	CONDUIT	0.38	0 00:00	1.34	0.01	0.08
L25	CONDUIT	0.42	0 00:00	0.97	0.02	0.10
L26	CONDUIT	0.49	0 00:00	0.99	0.03	0.12
L27	CONDUIT	0.07	0 00:00	0.55	0.00	0.03
L28	CONDUIT	0.14	0 00:00	0.79	0.01	0.06
L29	CONDUIT	1.09	0 00:00	2.00	0.03	0.12
L30	CONDUIT	1.51	0 00:00	2.19	0.05	0.14
L31	CONDUIT	0.02	0 00:00	0.00	0.00	0.02
L32	CONDUIT	0.15	0 00:00	0.92	0.01	0.05
L33	CONDUIT	0.04	0 00:00	0.51	0.00	0.03
L34	CONDUIT	0.06	0 00:00	0.65	0.00	0.04
L35	CONDUIT	0.54	0 00:00	1.43	0.02	0.10
L36	CONDUIT	0.07	0 00:00	0.57	0.00	0.04
L37	CONDUIT	0.21	0 00:00	0.91	0.01	0.07
L38	CONDUIT	0.10	0 00:00	0.85	0.00	0.04
L39	CONDUIT	0.07	0 00:00	0.77	0.00	0.04
L40	CONDUIT	0.01	0 00:00	0.00	0.00	0.02
L41	CONDUIT	0.32	0 00:00	0.06	0.72	0.63
L42	CONDUIT	0.39	0 00:00	1.23	0.01	0.09
L43	CONDUIT	2.79	0 00:00	2.95	0.07	0.18
L44	CONDUIT	3.28	0 00:00	2.19	0.05	0.15
L45	CONDUIT	2.39	0 00:00	2.10	0.09	0.21
L46	CONDUIT	0.02	0 00:00	0.00	0.00	0.02
L47	CONDUIT	0.12	0 00:00	0.80	0.01	0.05
L48	CONDUIT	2.26	0 00:00	2.04	0.09	0.20
L49	CONDUIT	2.04	0 00:00	2.18	0.07	0.18
L50	CONDUIT	0.03	0 00:00	0.00	0.00	0.02
L51	CONDUIT	0.35	0 00:00	1.17	0.01	0.08
L52	CONDUIT	0.36	0 00:00	1.20	0.01	0.08
L53	CONDUIT	0.07	0 00:00	0.00	0.00	0.02
L54	CONDUIT	0.17	0 00:00	0.93	0.01	0.06
L55	CONDUIT	0.07	0 00:00	0.56	0.00	0.05
L56	CONDUIT	0.37	0 00:00	0.93	0.01	0.06
L57	CONDUIT	0.05	0 00:00	0.27	0.00	0.03
L58	CONDUIT	0.07	0 00:00	0.36	0.00	0.04

En la figura 8 se puede evidenciar que el error de continuidad de la modelación del alcantarillado pluvial es 0.00.



Figura 7. Margen de error en la modelación del alcantarillado pluvial en SWMM

Tabla 13. Resultados modelación SWMM pluvial

Línea	Tipo	Caudal Máximo LPS	Instante Caudal días	Veloc. Máx hr:min m/sec	Caudal Máxima LPS	Nivel Máx/ Máx/ Lleno
L1	CONDUIT	4.36	0 00:00	2.68	0.03	0.11
L2	CONDUIT	8.02	0 00:00	3.44	0.05	0.14
L3	CONDUIT	11.00	0 00:00	0.81	0.16	0.27
L6	CONDUIT	6.39	0 00:00	3.29	0.02	0.09
L7	CONDUIT	8.03	0 00:00	1.25	0.05	0.16
L8	CONDUIT	34.83	0 00:00	2.68	0.07	0.18
L9	CONDUIT	37.86	0 00:00	4.00	0.05	0.15
L11	CONDUIT	44.76	0 00:00	4.23	0.06	0.16
L14	CONDUIT	13.60	0 00:00	2.47	0.01	0.08
L16	CONDUIT	6.75	0 00:00	1.03	0.06	0.16
L19	CONDUIT	0.69	0 00:00	1.35	0.00	0.03
L20	CONDUIT	24.55	0 00:00	2.12	0.06	0.17
L26	CONDUIT	10.86	0 00:00	2.34	0.01	0.07
L27	CONDUIT	5.37	0 00:00	1.95	0.06	0.16
L28	CONDUIT	10.90	0 00:00	2.78	0.05	0.15

L29	CONDUIT	104.15	0 00:00	6.79	0.62	0.57
L30	CONDUIT	136.33	0 00:00	7.08	0.13	0.24
L34	CONDUIT	4.04	0 00:00	2.11	0.06	0.17
L35	CONDUIT	21.94	0 00:00	4.32	0.14	0.25
L36	CONDUIT	5.29	0 00:00	2.09	0.05	0.15
L37	CONDUIT	10.54	0 00:00	2.77	0.17	0.28
L38	CONDUIT	2.29	0 00:00	2.14	0.01	0.09
L39	CONDUIT	0.07	0 00:00	0.00	0.00	0.01
L40	CONDUIT	0.69	0 00:00	1.71	0.00	0.02
L41	CONDUIT	30.80	0 00:00	4.97	0.02	0.11
L46	CONDUIT	1.72	0 00:00	1.95	0.06	0.17
L49	CONDUIT	148.17	0 00:00	6.61	0.11	0.23
L50	CONDUIT	2.76	0 00:00	2.32	0.00	0.04
L52	CONDUIT	2.38	0 00:00	1.77	0.00	0.04
L53	CONDUIT	6.47	0 00:00	3.01	0.08	0.19
L54	CONDUIT	30.04	0 00:00	3.83	0.07	0.18
L55	CONDUIT	6.93	0 00:00	0.99	0.40	0.44
L56	CONDUIT	39.66	0 00:00	3.17	0.07	0.18
L57	CONDUIT	2.77	0 00:00	0.85	0.04	0.13
L58	CONDUIT	5.20	0 00:00	1.20	0.03	0.12
L59	CONDUIT	3.62	0 00:00	2.19	0.01	0.08
L60	CONDUIT	4.19	0 00:00	1.69	0.01	0.06
L61	CONDUIT	0.41	0 00:00	1.07	0.00	0.02
L62	CONDUIT	2.01	0 00:00	0.09	0.17	0.28
L63	CONDUIT	3.41	0 00:00	2.12	0.00	0.04
L64	CONDUIT	3.69	0 00:00	2.20	0.00	0.05
L65	CONDUIT	51.77	0 00:00	5.54	0.05	0.15
L66	CONDUIT	189.48	0 00:00	6.29	0.13	0.24
L69	CONDUIT	47.48	0 00:00	4.03	0.05	0.15
L70	CONDUIT	192.36	0 00:00	7.97	0.09	0.21
L71	CONDUIT	260.19	0 00:00	7.55	0.16	0.27

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

Para la implementación del SUDS del barrio San Martín, es importante tener en cuenta dos consideraciones técnicas realizadas por dos instituciones a nivel nacional.

1. La Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá Mediante Convenio interadministrativo 1201 de 2017 con el municipio de Soacha, conceptualiza que el Barrio San Martín del Municipio de Soacha Cundinamarca se encuentra en zona de Amenaza por Lluvias Torrenciales.
2. Por la zonificación Geo mecánica realizada por el servicio Geológico colombiano en el municipio de Soacha Cundinamarca año 2012 concluye lo siguiente:
 - Deficiencias en la explotación minera sin recuperación ambiental (Muchos barrios están en zonas que fueron explotación minera).
 - Procesos de infiltración de aguas servidas, lluvias y escorrentía debido al deficiente manejo de las aguas.
 - Deficiente construcción de vías, viviendas, y obras en general.
 - Erosión procesos erosivos superficiales.
 - Lluvias precipitaciones de alta intensidad aguaceros fuertes.
 - El municipio de Soacha se ha visto afectado drásticamente por fenómenos de remoción en masa que se han venido produciendo por la ola invernal y cambios climáticos que producen los agentes detonantes que activan estos fenómenos que desestabilizando los taludes y laderas, fenómenos que ocurren sin previo aviso causando desastre y arrastrando todo lo que se encuentran a su paso disminuyendo la calidad de vida y colocando en riesgo la vida de los habitantes.

Alcance

Es la ubicación y dimensionamiento de la estructura SUDS que se proyectará en el barrio San Martín.

Insumos

Se cuenta con un plano topográfico del Barrio San Martín, con curvas de nivel, ubicación de viviendas y áreas de ubicación de andenes, vías públicas, etc. Este plano muestra que las cotas topográficas de mayor altura van de occidente a oriente y de sur a norte y por consiguiente la escorrentía fluye en el mismo sentido.

Plano de Legalización

Se tiene plano de legalización del Barrio San Martín del Municipio de Soacha, donde se muestra las zonas de amenazas por movimiento en masa y manzanas que se encuentran en riesgo.

Ubicación

Se selecciona la calle 3 entre carreras 6 este y 8C este, parte perimetral del Barrio San Martín por ser un sitio que, debido a su topografía, llegan las aguas de escorrentía que drenan de sur a norte y de occidente a oriente. Además, que es una vía peatonal sin movimiento vehicular, por lo tanto, es relevante proyectar un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible con mayor dimensión longitudinal que transversal, para poder captar una mayor cantidad de agua, convirtiéndose así en una medida de mitigación por efecto de las aguas lluvias y disminución de procesos erosivos.



Figura 8. Ubicación SUDS y plano de riesgo

Cunetas Verdes

El tipo de SUD escogido son cunetas verdes, por ser tener una mayor dimensión longitudinal, lo que permite adaptarse a la característica geométrica del Barrio San Martín, en cuanto al espacio y la condición hidrogeológica.

La Norma NS-166 define las cunetas verdes como cunetas de sección triangular o trapezoidal con una pendiente lateral baja, que permite la concentración y conducción de escorrentía de un punto a otro. Adicionalmente, esta estructura puede reducir la velocidad con la cual se descarga la escorrentía a los cuerpos receptores en comparación con los sistemas de drenaje convencional. Suelen emplearse en conjunto con franjas de césped en ambos costados longitudinales, para direccionar el flujo de la escorrentía superficial hacia la cuneta.

Dado que para este tipo de estructuras se requiere un área longitudinal considerable, su localización se sugiere en zonas de espacio público como separadores viales, entre avenidas o al costado de éstas. En áreas de nuevos desarrollos su implementación debe considerarse desde la planeación misma del

proyecto, puesto que este tipo de estructuras requieren de áreas verdes de un ancho mínimo y una longitud considerable para su adecuada construcción, operación y mantenimiento. En la Figura 10 se puede observar un esquema de una cuneta verde.

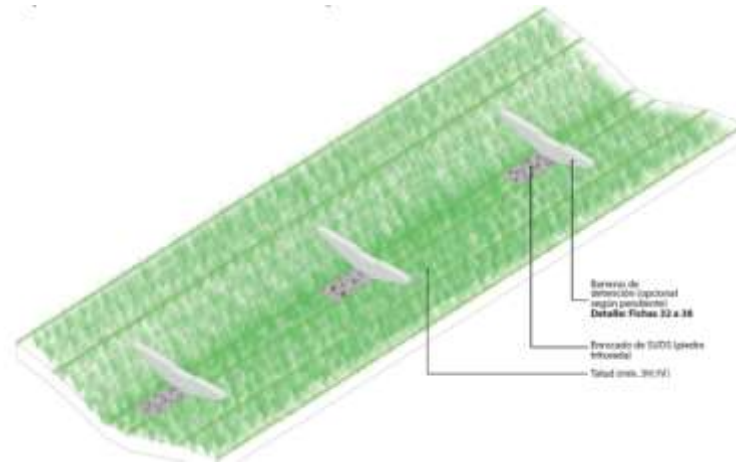


Figura 5. Cunetas verdes. Fuente: NS-166 de la EAAB-ESP.

- Parámetros de diseño

A continuación, se describe la metodología establecida en la norma Ns-166 de la EAAB-ESP para la determinación de los caudales a retener y/o filtrar a través de los SUDS.

- Caudal de diseño asociado a un periodo de retorno

Se utiliza la metodología definida en la norma NS-166, la cual establece la definición de la lámina de agua de acuerdo con las curvas vigentes de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) disponibles en la EAAB-ESP y que se representan de la forma:

$$I = \frac{c T^m}{D^{e+f}}$$

De donde

I = Intensidad de lluvia (mm/h),

T = Periodo de retorno (años),

D = Duración del evento (min)

c, m, e, f = Coeficientes dependientes de la estación de medición

Estimación aproximada de (h_p) a partir de curvas IDF

Para el caso de una estación pluviográfica específica se debe usar la siguiente ecuación, con los valores de los parámetros c , m , e y f propios de la estación.

$$h_{1.2,360} = \left[\frac{c(1.2)^m}{(360)^{e+f}} \right] \left[\frac{360}{60} \right]$$

Transformar $h_{1.2,360}$ a h_p mediante la siguiente ecuación:

$$h_p = 10.19 \ln[h_{1.2,360}] - 16.785$$

De donde

h_p = Profundidad de lluvia (mm)

$h_{1.2,360}$ = Profundidad de lluvia con un periodo de retorno de 5 años y una duración de 360 minutos (mm).

Caudal para un periodo de retorno de diseño (Q_b)

Para el caso de la ciudad de Bogotá, los diseños de tipologías y estructuras anexas basadas en caudal para un periodo de retorno de diseño (Q_b), se hace con base en el método racional, de donde:

$$Q_b = C I_{Tr} A$$

Dónde:

Q_b = Caudal máximo en m^3/s para un período de retorno “Tr”.

C = Coeficiente de escorrentía adimensional

A = Área de drenaje, en km^2 .

I_{Tr} = Intensidad de la lluvia en m/s para un período de retorno “Tr” y una duración de lluvia igual al tiempo de concentración.

Para el área de estudio, se adopta un C de 0.90, el cual se define por el cambio de la cobertura actual la cual pasa de áreas verdes a pavimento.

La intensidad de la lluvia utilizada para el análisis de los SUDS es la correspondiente a un tiempo de retorno de 3 años. Para calcular el caudal pico, de acuerdo con lo especificado en la Norma, se definió que el tiempo del aguacero debía ser 360min.

Volumen de calidad o tratamiento (V_c)

El volumen de calidad (V_c) se define a partir de la profundidad de lámina de escorrentía h_{WQCV} (Water Quality Control Volume o Water Quality Capture Volume) o profundidad de lámina para el volumen de tratamiento de calidad del agua del mayor evento de escorrentía a ser completamente capturado y tratado por medio de SUDS. Este volumen de captura representa el balance adecuado en términos de costo eficiencia entre tormentas tratadas, remoción de sólidos y costos de construcción y operación.

$$h_{WQCV} = C_i \cdot h_p$$

De donde

h_{WQCV} = Profundidad de lámina del volumen de calidad de agua (mm),

C_i = Coeficiente de escorrentía

h_p = Profundidad de lluvia (mm).

Determinación de volumen de calidad (V_c)

A partir del valor estimado de h_{WQCv} , el volumen de tratamiento de calidad se puede determinar a partir de la siguiente ecuación:

$$V_c = 10 \cdot \alpha \cdot C \cdot h_{WQCv} \cdot A$$

De donde

V_c = Volumen de tratamiento (m^3),

A = Área de drenaje (ha),

h_{WQCv} = Profundidad de lámina de agua para el volumen de tratamiento (mm),

α y C = Coeficientes dependientes del tiempo de drenaje y de la tipología particular

Por otra parte, si en el sitio de interés se cuenta con un valor de profundidad de lluvia (h_p), el volumen de calidad también puede calcularse por medio de la siguiente ecuación:

$$V_c = \alpha \cdot C_i \cdot h_p \cdot A$$

De donde

V_c = Volumen de tratamiento (m^3),

A = Área de drenaje (m^2),

h_p = Profundidad de lluvia (m),

C_i = Coeficiente de escorrentía del terreno.

Tabla 14. Coeficiente α de acuerdo con el tiempo de drenaje. Fuente: Norma NS-166 EAAB-ES

Coeficiente α de Acuerdo con el Tiempo de Drenaje	Tiempo de drenaje (h)
0,7	6
0,8	12
0,9	24
1	40

Pre-diseño cuneta (metodología UniAndes)

Utilizando las hojas de cálculo de la Universidad de los Andes, se tiene para el pre diseño de las estructuras.

7..10 Análisis Hidrológico- Curvas IDF

- Con base en el anexo AB de la norma 166 se analiza la hidrología para el área del barrio San Martin, se utilizaron las hojas de cálculo de la Universidad de los Andes para establecer la hidrología

HIDROLOGÍA

Tabla 15. Resultados Q para SUDS. Fuente: Hojas Excel UNIANDES

	C	A _i (m ²)	CA _i (m ³)
Área1	0,9	37941	34146,9
Área2			0
Área3			0
Área4			0
Área5			0
		37941	34146,9
	C _{prom}		0,9

Caudal pico	
PR (años)	3
i _{2,5}	22,74
D (hr)	0,50

Q _{2,5} (m ³ /s)	V (m ³)
0,216	388,25

Caudal de verificación	
PR (años)	10
i ₁₀ (mm/hr)	28,25
D (hr)	0,50
Q ₁₀ (m ³)	0,268

Tabla 16. Predimensionamiento Cunetas Verdes

Variable	Unidades	Valor	Consideraciones
Procedimiento de diseño			
Caudal de diseño para un periodo de dos a cinco años (Q_{2-5})	m ³ /s	0,216	El valor debe corresponder a la tasa de flujo para el periodo de retorno seleccionado en condiciones de desarrollo completo
Tiempo de residencia hidráulico			
Longitud de la cuneta (L)	m	341,63	Debe ser maximizada en la medida de lo posible
Tiempo de residencia calculado (T_{rs})	h	0,19	Entre más alto, aumenta calidad
Pendiente longitudinal			
Pendiente disponible (S_p)	m/m	0,146	Se refiere a la pendiente del terreno
Pendiente de diseño (S)	m/m	0,015	Se refiere a la pendiente efectiva de diseño que tendría la cuneta
Geometría de la cuneta			
Pendiente lateral del canal Z:1 (Z)	-	3,00	No debe ser menor a una relación Horizontal:Vertical de 3:1
Condición pendiente lateral del canal	-	Cumple	
Ancho del fondo de la cuneta (W_f)	m	2,00	Orientado a tener un tiempo de residencia alto, en caso de no poder maximizar longitud
Velocidad			
Velocidad de diseño (v_f)	m/s	0,49	No debe exceder 0.5 m/s (1 ft/s) (recomendación)
Condición velocidad de diseño	-	Cumple	
Diseño			
Caudal de diseño (Q_{s2})	m ³ /s	0,21	Caudal empleado para obtener la profundidad
n de Manning	-	0,070	Depende del material y del retardo vegetal
Profundidad de flujo (d)	m	0,18	No debe ser mayor a 0.3 m (1 ft) (recomendación)
Condición profundidad de flujo	-	Cumple	

Tabla 17. Dimensionamiento Cunetas Verdes

<i>Variable</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor</i>	<i>Consideraciones</i>
Área de flujo (A_w)	m ²	0,44	En caso de no poder maximizar la longitud, esta área debería modificarse de tal forma que el Tr sea alto
Ancho superior de la cuneta (W_{sd})	m	3,05	Depende del ancho del fondo, la pendiente y la profundidad de la cuneta
Gravedad (g)	m/s ²	9,81	Constante gravitacional
Número de Froude (F)	-	0,41	No debe superar un valor de 0.5 (recomendación)
Condición número de Froude	-	Cumple	
Radio hidráulico (R_H)	m	0,14	Parámetro para encontrar retardo vegetal, que resulta necesario para el n de Manning
<i>Borde libre</i>			
n de Manning	-	0,070	Depende del material y del retardo vegetal
Caudal para un periodo de diez años (Q_{10})	m ³ /s	0,268	Caudal empleado para definir la altura máxima del flujo en un evento con periodo de retorno de 10 años
Profundidad asociada a un evento con periodo de retorno de 10 años (d_{ext})	m	0,20	Se calcula a partir del caudal asociado a un evento con periodo de retorno de 10 años
Borde libre recomendado (d_L)	m	0,15	Se establece comparando la profundidad requerida para el manejo de un evento extremo y una altura mínima recomendada
Profundidad mínima cuneta (d_{to})	m	0,33	Considerando borde libre y profundidad para un evento con periodo de retorno de 2 a 5 años
Ancho superior de la cuneta para profundidad mínima (W_s)	m	3,96	Ancho correspondiente a la profundidad mínima

Profundidad real cuneta (d_{tor})	m	0,50	Esta profundidad debe ser mayor o igual a la mínima establecida para la cuneta
Condición profundidad real cuneta	-	Cumple	
Ancho superior de la cuneta de acuerdo a la profundidad real (W_{sr})	m	5,00	Ancho correspondiente a la profundidad real de la cuneta
<i>Barreras de detención</i>			
¿Se requieren barreras de detención?	si	Si	Se requiere usar barreras de detención cuando la pendiente del terreno es muy alta (>0.02 m/m) y, por lo tanto, es mayor a la de diseño
Altura acumulada requerida para las estructuras de control (H_d)	si	44,80	Depende de la pendiente empleada y la longitud de la cuneta. Sólo se requiere si la pendiente efectiva de diseño es distinta a la pendiente del
Altura total - superficial de las barreras (H_{tsb})	m	0,45	Se recomienda una altura menor a 30 cm. En todo caso la altura no debe ser menor a la profundidad total de la cuneta. A su vez, la altura debe ser mayor a la profundidad del flujo correspondiente al evento de diseño seleccionado (2 a 5 años).
Condición altura superficial de las barreras	m	Cumple	Adicionalmente se sugiere que para el diseño de la barrera se disponga un vertedero en la parte central de acuerdo al evento máximo de diseño
Distancia entre barreras (L_{bd})	m	3,42	Valor resultante de la geometría establecida entre las pendientes disponible y de diseño, teniendo en cuenta la altura superficial de las barreras
Número de barreras requeridas (N_{bd})	-	100,00	Responde a la longitud total de la cuneta y a la distancia entre las barreras

Operación

El agua de escorrentía ingresa a esta estructura de manera directa durante eventos de precipitación, o de forma indirecta, a través de estructuras anexas que capten el volumen de escorrentía y lo descarguen en este sistema. En caso de que se requiera, es posible acoplar de manera previa alguna estructura de pre-tratamiento, para reducir la carga de contaminación que ingresa a esta tipología. Una vez el flujo de escorrentía ingresa a la cuneta, éste se irá concentrando y transportando en la sección triangular o trapezoidal, a medida que el evento transcurre, favoreciendo así la infiltración del agua en el suelo circundante y la remoción de contaminantes debido a la interacción del agua con la cobertura vegetal asociada a esta tipología.

Si en el sitio a intervenir es necesario restringir o eliminar la infiltración de escorrentía, se deben emplear capas de geomembranas en la parte baja de la estructura, con el fin de reducir la permeabilidad de la cuneta.

Cobertura vegetal asociada

Se sugiere que la vegetación en las cunetas verdes sea lo suficientemente robusta como para resistir el flujo de escorrentía de diseño y la carga de contaminación asociada a ésta, durante un largo periodo de tiempo de operación (> 6 meses). En este sentido las plantas empleadas deben presentar una cobertura densa y con suficiente enraizamiento para resistir procesos erosivos. Así mismo, la cobertura vegetal utilizada debe favorecer la reducción de la velocidad del agua durante su conducción y, por lo tanto, aumentar el tiempo de residencia hidráulico de la escorrentía. De esta manera se favorece la infiltración del agua (cuando sea posible) y la filtración de los sedimentos y/o contaminantes del agua.

En relación con el componente paisajístico, para esta tipología es posible introducir pastos foráneos y/o especies de flores que favorezcan la apariencia del área intervenida. En ese caso, se sugiere emplear especies nativas de las áreas cercanas al sitio a intervenir, para así garantizar una cobertura densa de vegetación, de rápida adaptación y con un tiempo de vida extenso. Se deben evitar siembras profundas, con el fin de facilitar la colonización vegetal y de este modo promover que su crecimiento y desarrollo sea lo más natural posible. Así mismo, para adecuar taludes y evitar la formación de mini cárcavas, se deben hacer surcos que sean perpendiculares a la pendiente de la ladera.

Materiales

- **Capa superficial**

La capa superficial debe contener cobertura vegetal, preferiblemente nativa, compuesta por gramíneas herbáceas anuales y perennes de floración anual. En caso de que las tasas de erosión sean muy altas, es posible utilizar recubrimientos especiales o geotextiles. El uso de metal galvanizado, madera y materiales que liberen químicos por erosión se deben evitar en toda la estructura de la cuneta. La altura de la cobertura vegetal debe estar entre 10 a 15 cm, y en caso contrario se debe evaluar si es necesario incluir especies con un mejor crecimiento o por el contrario realizar labores de poda y mantenimiento de esta cobertura.

- **Capa de drenaje**

En caso de ser necesaria la capa de drenaje se compone de una capa de grava mínimo de 20 cm de profundidad para proporcionar almacenamiento temporal del volumen de agua que posteriormente ingresa a la tubería perforada.

- **Estructuras anexas**

Algunas estructuras anexas como divisores de caudal deben ser construidos en un material firme; usualmente fabricados en concreto, plástico reciclado o bancos de suelo compactado. Por otro lado, si se requiere de barreras de detención, éstas se pueden construir con agregado grueso (100 mm - 600 mm), tablas de madera, gaviones o tierra mientras protejan adecuadamente la cuneta contra la erosión.

En el fondo superficial de la cuneta una capa de suelo o sustrato con una profundidad mínima de 45 cm. Bajo el sustrato se debe añadir una capa de drenaje, la cual contenga una tubería perforada que favorezca la descarga de los excesos de agua almacenada.

Para añadir estabilidad al fondo de la cuneta, es necesario recubrir el fondo de ésta con un geotextil no tejido, el cual permita la infiltración del agua y a su vez posibilite diferenciar el suelo propio de la estructura para futuras labores de seguimiento y monitoreo. En caso de que se requiera restringir o evitar la infiltración, se debe incorporar en la parte más baja de la estructura una geomembrana en vez de un geotextil, de modo que todo el volumen de exceso de escorrentía sea evacuado por la tubería perforada y no a través del suelo circundante

CONCLUSIONES

1. Es indispensable articular o empalmar estudios, en este caso se tomó como referencia la información otorgada por el Servicio Geológico Colombiano y la Universidad Nacional, con el fin de lograr una proyección de un mejor manejo de las aguas superficiales, en beneficio de la comunidad barrió San Martin Municipio de Soacha Cundinamarca.
2. Las cunetas verdes son el Sistema Urbano de Drenaje Sostenible que mejor se adapta a las condiciones del barrio San Martin teniendo en cuenta su topografía y la hidráulica del lugar. Además, es un valor agregado porque permite realizar un mejor manejo de las aguas pluviales.
3. El diseño del alcantarillado sanitario y pluvial se realizó con la normatividad técnica vigente. Sin embargo, se obtuvieron altas profundidades de excavación por lo tanto es necesario realizar más estudios para comprobar cómo se comportaría el sistema y si es viable su construcción.
4. El margen de error del diseño sanitario y pluvial con la modelación en SWMM es de 0.00% y 0.00%, valores aceptables dentro los márgenes de seguridad del diseño del alcantarillado sanitario y pluvial del barrio San Martin y la capacidad hidráulica mostrada por SWMM en ambos sistemas están por debajo del 1 o 100%.

RECOMENDACIONES

1. Si toda la comuna sexta del municipio de Soacha Cundinamarca, de acuerdo con el convenio 1201 de 2016, se encuentra en amenaza por lluvias torrenciales, es indispensable actualizar los alcantarillados bajo la filosofía SUDS, que estaría en armonía con los principios de precaución consagrados en la ley de Gestión del Riesgo y así evitar pérdidas materiales y quizás humanas cuando se presente las lluvias torrenciales.
2. En lo posible, al construir el SUDS se debe observar los niveles de construcción y materiales seleccionados recomendados de tal forma que también capte las aguas subsuperficiales, para evitar que se estanque en los cimientos de las viviendas.
3. En el sistema de alcantarillado sanitario, se presentan valores de excavación muy altos por lo cual se recomienda instalar cámaras de caída en los tramos 30-25 y 9-10, utilizando un flujo un accesorio en Y para la entrada del flujo en la parte superior; permitir una mayor disipación de energía tomando un codo de 45° que deja la bajante totalmente vertical después de captar la mayor cantidad de flujo y con un codo de 90° con una curva suave para permitir que fluyan las aguas hacia las canaletas en la parte inferior del pozo ver la figura 11.

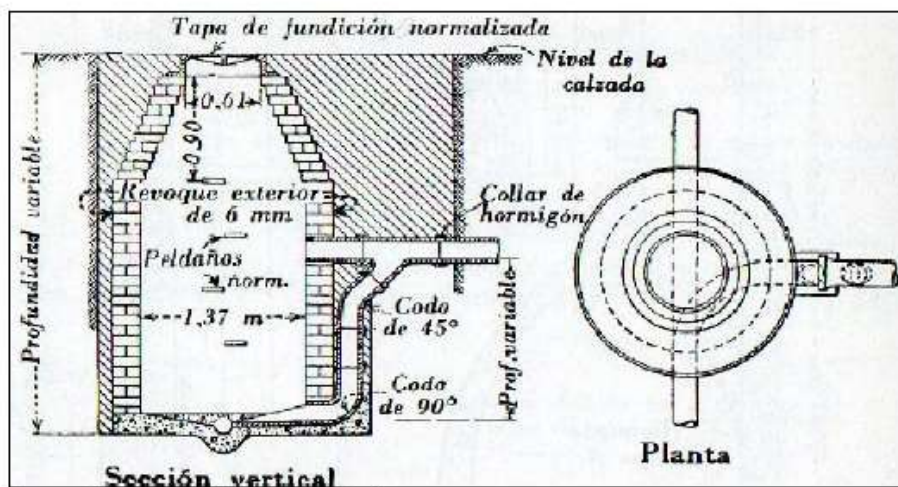


Figura 35. Cámara de caída tipo bajante.

Fuente: Ernest W. Steel. Abastecimiento de Agua y Alcantarillado. 3ª edición. p.391.

Figura 6. Cámara de caída tipo bajante.

BIBLIOGRAFÍA

- (1). Urban Drainage, by David Butler and Jhon W Davis, this edition published in the Taylor & Francis, library 2010, London and New York.
- (2). Servicio Geológico Colombiano Zonificación Geo mecánica y Amenaza por Movimientos en masas en el municipio de Soacha – Cundinamarca Escala 1:25.000, Bogotá febrero 2013.
- (3). Resolución de legalización N° 1209 del 24 de octubre de 2014 “Por Medio del Cual se legaliza el Asentamiento Humano Denominado San Martin-Localizado en la comuna seis del Municipio de Soacha “
4. Normas Técnicas de la EAAB.
5. Servicio Geológico Colombiano Zonificación Geo mecánica y Amenaza por Movimientos en masas en el municipio de Soacha –Cundinamarca Escala 1:5.000, Bogotá marzo 2012.
6. Elementos de Diseño Para Acueducto y Alcantarillado, Ricardo Alfredo López Cualla. Editorial escuela Colombiana de ingeniería. Santafé de Bogotá 1995.
7. Guía para el diseño Hidráulico de Redes de Alcantarillado. Empresa Pública de Medellín. Medellín 2009.
8. Estudio de Amenaza y Vulnerabilidad por Avenidas Torrenciales e Inundaciones en el Municipio Soacha Medidas de Mitigación. Contrato Interadministrativo 1201 del 2017-
9. RAS J.T(2000 año 2009 Y Ras 2017)Reglamento técnico de Agua Potable y Saneamiento básico
http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_d_.pdf
http://www.minvivienda.gov.co/Detcalc-eady_Editorial_labor_s.aocuments/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_d_.pdf
- 10 Criterios para Diseño y Construcción de sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS NS 166 EAAB.
11. Abastecimiento de Agua y Alcantarillado W Stell Ernest
12. Tratamiento y Depuración de las Aguas residuales metcalf-eddy editorial labor S.A Madrid marzo 1977.
13. Diseño y Construcción de alcantarillados, sanitario, pluvial y drenaje en carreteras. Rafael Perez Carmona Ecoe Ediciones Bogotá D.C. 2013

ANEXOS

- ANEXO1. Diseño Alcantarillado Residual
- ANEXO 2. Diseño Alcantarillado Pluvial.
- ANEXO 3. E Crítico.
- ANEXO 4. Hidráulicamente Dominate.
- ANEXO 5. Dirección.
- ANEXO 6. Diámetros.
- ANEXO 7. Relación Hidráulica $Q_o/Q_{diseño}$.
- ANEXO 8. Plano Topográfico con Curvas de Nivel del Barrio SanMartin.
- ANEXO 9. Perfiles Topográficos
- ANEXO 10. Archivo SWMM (SANITARIO Y PLUVIAL)
- ANEXO 11. Perfiles Obtenidos con SWMM